

ANALYSE DU SECTEUR DE L'ÉTHANOL SELON LES PRINCIPES DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Par

Mohamed Mehdi Kacimi

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention
du grade de maître en environnement (M.Env.)

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, mars 2008

IDENTIFICATION SIGNALÉTIQUE

ANALYSE DU SECTEUR DE L'ÉTHANOL SELON LES PRINCIPES DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Mohamed Mehdi Kacimi

Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Université de Sherbrooke

Mars 2008

Mots clés : éthanol, développement durable, changements climatiques, pétrole, transport routier, gaz à effet de serre, biocarburants.

Alors que le secteur du pétrole est en crise et que la conscience environnementale de la communauté internationale s'éveille, les décideurs politiques voient en l'éthanol la solution à plusieurs problèmes notamment à celui de la diversification énergétique et à la lutte contre la problématique des changements climatiques. Malgré ce contexte favorable, les plus réfractaires condamnent cette filière sachant que le procédé de fabrication se base sur l'utilisation de plantes amylacées notamment de maïs qui constituent un aliment de base pour les populations les plus démunies. Face au débat qui divise, la question qui se pose est de savoir si le développement du secteur de l'éthanol peut être considéré comme une voie durable. L'analyse du secteur à travers les principes du développement durable met en évidence la faible performance du secteur en la matière.

SOMMAIRE

Le développement du secteur de l'éthanol suscite en effet un débat qui déchire les scientifiques, les pouvoirs publics ainsi que la communauté internationale. D'un point de vue éthique, l'éthanol produit à partir, entre autres, du maïs suscite un tollé de protestations. Est-ce que le secteur de l'éthanol s'inscrit dans une perspective de développement durable ? C'est ce que la présente réflexion tente d'éclaircir.

Découverte au Moyen âge pour ses vertus médicinales, les applications industrielles de la molécule d'éthanol sont aujourd'hui multiples. Utilisé pour la première fois en tant que carburant en 1930, l'éthanol refait surface dans le secteur des transports où il est utilisé au Brésil notamment comme biocarburant. L'éthanol est produit selon deux voies principales de fabrication dont la première, à partir de plantes amylacées et la deuxième, à partir de biomasse lignocellulosique. Cette deuxième voie est encore à son état expérimental compte tenu des coûts de production y étant associés. En tant qu'adjuvant au carburant usuel, l'éthanol relève l'indice d'octane et permet une meilleure combustion du carburant. Mais pourquoi un tel engouement en faveur de l'éthanol ?

Des prix records affichés par un secteur pétrolier en crise dépassant la barre psychologique des 100 \$US et des réserves dont le niveau diminue sont autant de facteurs qui font réaliser aux pouvoirs publics que la diversification énergétique est imminente pour s'affranchir de leur dépendance énergétique à l'égard des pays producteurs. S'ajoute à ces facteurs, la pression exercée par la communauté internationale depuis la signature du protocole de Kyoto pour solutionner la problématique des changements climatiques dont le transport routier en est le principal responsable. Cette pression est d'autant plus forte que les répercussions des changements climatiques se font sentir sur l'économie, la société et l'environnement.

L'éthanol jouit en effet d'un climat favorable à son développement. Au Brésil, aux États-Unis et dans les pays européens les perspectives de développement sont claires. L'éthanol est la première source d'énergie renouvelable qui prend une place aussi importante sur l'échiquier

des carburants. Les gouvernements lui accordent un soutien sans égal notamment à travers la mise en place de mesures fiscales pour en faire un secteur économiquement viable.

Bien que certains en soient de fervents défenseurs, la filière de l'éthanol fait l'objet d'un débat sans pareil. L'aspect éthique fait rage notamment l'utilisation de denrées alimentaires pour produire du carburant. Bien que l'éthanol s'inscrit dans une approche de diversification énergétique, il ressort de l'analyse des arguments en faveur et en défaveur de la filière de l'éthanol, que d'un point de vue économique, social et environnemental, cette dernière ne s'inscrit pas dans une perspective de développement durable.

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier mon directeur d'essai Monsieur Jean-Marie Bergeron qui m'a apporté soutien et encouragements tout au long de ce travail.

Aussi, j'aimerais remercier toutes les personnes qui m'ont apporté un soutien moral notamment mes amis, ma famille, mes parents et ma femme à qui je dois beaucoup de patience.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. L'ÉTHANOL	3
1.1. La molécule et ses origines.....	3
1.1.1. Présentation de la molécule d'éthanol.....	3
1.1.2. Origines et applications industrielles de l'éthanol.....	4
1.2. Procédés de fabrication de l'éthanol.....	6
1.2.1. Production de l'éthanol à partir de grains et de plantes amylacées	7
1.2.2. Filière de la cellulose.....	8
1.2.3. Les nouvelles filières de biocarburants	10
1.2.4. Différents types de mélanges éthanol-essence	11
1.3. Effets de l'éthanol sur le rendement du véhicule	12
1.3.1. Effet sur l'indice d'octane	13
1.3.2. Effet de l'éthanol sur la volatilité des carburants	13
1.3.3. Effet sur la consommation de carburant.....	13
1.3.4. Effet sur la solubilité de l'eau et la démixtion.....	14
2. ORIGINES D'UN MARCHÉ EN ÉMERGENCE	15
2.1. Orientations stratégiques	15
2.1.1. La demande du pétrole face à l'offre.....	15
2.1.2. État des stocks du pétrole et perspectives.....	18
2.1.3. Besoins énergétiques du secteur des transports.....	21
2.2. Changements climatiques.....	23
2.2.1. Situation climatique : Les GES	24
2.2.2. Part du secteur des transports	26
2.2.3. Incidences des changements climatiques sur l'environnement	28
2.2.4. Incidences des changements climatiques sur l'économie.....	30
2.2.5. Incidences des changements climatiques sur la société.....	31
2.3. Développement durable et Protocole de Kyoto.....	33
3. SITUATION DE L'ÉTHANOL DANS LE MONDE.....	34

3.1.	Les principaux joueurs	34
3.1.1.	L'industrie de l'éthanol	34
3.1.2.	Les perspectives de développement	39
3.2.	Un contexte favorable.....	43
3.2.1.	Politiques énergétiques.....	43
3.2.2.	Soutien économique de l'éthanol par les gouvernements	44
4.	L'AMBIVALENCE DE L'ÉTHANOL	49
4.1.	Enjeux économiques.....	49
4.1.1.	Arguments en faveur de l'éthanol	49
4.1.2.	Arguments en défaveur de l'éthanol.....	51
4.2.	Enjeux sociaux.....	53
4.2.1.	Arguments en faveur de l'éthanol	53
4.2.2.	Arguments en défaveur de l'éthanol.....	55
4.3.	Enjeux environnementaux	57
4.3.1.	Arguments en faveur de l'éthanol	57
4.3.2.	Arguments en défaveur de l'éthanol.....	58
5.	DISCUSSION.....	61
5.1.	Rappel de la définition du concept de développement durable et présentation du système de cotation.....	61
5.2.	Bilan économique	63
5.3.	Bilan social	66
5.4.	Bilan environnemental.....	70
	CONCLUSION	76
	RÉFÉRENCES	78

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

	Page
Figure 1.1	Molécule d'alcool éthylique3
Figure 1.2	Schéma simplifié de la fabrication de l'éthanol à partir de la betterave sucrière7
Figure 1.3	Schéma simplifié de la production de l'éthanol à partir de la biomasse lignocellulosique.....8
Figure 1.4	Schéma simplifié de la fabrication du mélange éthanol- essence.....12
Figure 1.5	Schéma simplifié des étapes de fabrication du mélange EMHV- gazole.....12
Figure 2.1	Consommation de pétrole par habitant en tonnes, pour l'année 2006.....16
Figure 2.2	Prix du pétrole entre 1861 et 2006.....16
Figure 2.3	Consommation de produits pétroliers dans le monde en 2002 : 3,5 Gtep.....21
Figure 2.4	La consommation d'énergie selon les modes de transport au Québec (1980- 2005).....22
Figure 2.5	Répartition de la consommation d'énergie dans le secteur du transport en 2001.....23
Figure 2.6	Répartition des émissions de GES au Québec selon le type de gaz en 2003.....26
Figure 2.7	Variations en pourcentage des émissions de GES, du PIB, de la population et de la consommation d'énergie provenant des combustibles fossiles, au Québec, depuis 1990.....27
Figure 2.8	Répartition des émissions de GES au Québec par secteur d'activité en 2003.....27
Figure 2.9	Impacts sur l'environnement en fonction de l'augmentation de la température.....29

Figure 2.10	Fonction de la productivité.....	30
Figure 3.1	Vente de véhicules neufs dédiés à l'éthanol au Brésil.....	36
Figure 3.2	Production mondiale d'éthanol carburant.....	37
Figure 3.3	Production mondiale d'éthanol en 2005 (36 Mt).....	37
Figure 3.4	Production et consommation d'éthanol en Europe en 2005 (kT).....	38
Figure 3.5	Demande en carburant prévue pour 2010 (en Mtep).....	41
Figure 3.6	Part de la production agricole actuelle à mobiliser pour atteindre l'objectif 2010.....	41
Figure 3.7	Évolution de la production des biocarburants dans le monde en Mt.....	43
Figure 5.1	Représentation de la performance du secteur de l'éthanol en matière de développement durable.....	74
Tableau 1.1	Propriétés physiques de l'éthanol.....	4
Tableau 1.2	Principales voies de traitement de l'éthanol.....	6
Tableau 2.1	Réserves de pétrole par pays au 1 ^{er} janvier 2004.....	19
Tableau 2.2	Concentrations atmosphériques et potentiel de réchauffement planétaire de certains GES.....	24
Tableau 2.3	Émissions mondiales des principaux gaz à effet de serre - Total des émissions de CO ₂ , de CH ₄ et de N ₂ O en 1990.....	25
Tableau 3.1	Ressources mobilisables.....	42
Tableau 3.2	Coût de production de l'éthanol et des carburants pétroliers dans les grands pays producteurs de biocarburants (2004).....	45
Tableau 3.3	États américains offrant des mesures incitatives relativement à l'éthanol (en dollars par gallon américain).....	46
Tableau 4.1	Quantités de biomasse énergétique dans le monde.....	53
Tableau 5.1	Système de cotation.....	62
Tableau 5.2	Pondération des dimensions.....	62
Tableau 5.3	Bilan économique.....	66
Tableau 5.4	Bilan social.....	70

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

ACEA	Association européenne des constructeurs automobiles
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AIE	Agence internationale de l'énergie
ASPO	<i>Association for the Study of the Peak of Oil</i> Association pour l'étude du prix de pétrole
CFC	Chlorofluorocarbone
CIBC	Banque canadienne impériale de commerce
CONCAWE	Association européenne des compagnies pétrolières traitant des questions liées à l'environnement
DDGS	<i>Dried Distiller Grain and Solubles</i> Drêche déshydratée
EMVH	Ester méthylique d'huile végétale
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> Agence de protection de l'environnement
ETBE	Ethyl-tertio-butyl-éther
EUCAR	Conseil européen pour la recherche et le développement automobile
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FFV	<i>Fuel Flex Vehicle</i> Véhicule "Flex fuel"
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
HCFC	Hydrochlorofluorocarbone
IFP	Institut français du pétrole
INRA	Institut national de recherche agronomique
IPC	Indice des prix à la consommation
IWMI	Institut international de gestion des ressources en eau

JIT	<i>Just in time</i> Juste-à-temps
JRC	<i>Joint Research Center</i> Centre commun de recherche de la Commission européenne
MST	Mouvement des paysans sans terres
NILE	<i>New Improvement for Ligno-cellulosic Ethanol</i> Projet de développement des procédés optimaux de production de bioéthanol
NRC	<i>The National Research Council</i> Le Conseil national de recherche
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONU	Organisation des Nations Unies
OPEP	Organisation des pays exportateurs de pétrole
PAC	Politique agricole commune
PAM	Programme alimentaire mondial
PIB	Produit intérieur brut
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
SIWI	<i>Stockholm International Water Institute</i> Institut international de l'eau de Stockholm
SPE	<i>Society of Petroleum Engineers</i> Association des ingénieurs du pétrole
UNICA	Union nationale des industries de la canne à sucre
USGS	<i>United States Geological Survey</i> Institut de surveillance géologique des États-Unis
WPC	<i>World Petroleum Council</i> Congrès mondial du pétrole

LEXIQUE

Arabinose	Sucre à cinq atomes de carbone (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
-----------	---

Cellulase	Enzyme qui contribue à la digestion de la cellulose et qui facilite la fermentation (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Cellulose	Substance hydrocarbonée qui forme l'enveloppe de la cellule végétale et les fibres végétales (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Démixtion	Séparation des phases d'un matériau (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Fermentation	Transformation biologique utilisant des microorganismes (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Flex Fuel	Désigne un moteur qui peut accepter deux à trois types de carburants (Wilkypedia, 2007)
Distillation	Action de purifier un corps par passage de l'état liquide à l'état gazeux, par chauffage puis retour à l'état liquide par condensation (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Gazohol	Mélange essence-éthanol (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Gluten	Produit obtenu après la préparation industrielle de cette céréale pour en retirer l'amidon, le glucose et la dextrine (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Hémicellulose	Polyholosides présents dans les membranes intercellulaires et les parois cellulaires des plantes (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Hydrolyse	Réaction chimique de double décomposition dans laquelle une substance est décomposée par l'action de l'eau, les molécules d'eau se dissociant pour former de nouvelles molécules avec les éléments de la substance hydrolysée (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Hygroscopique	Qui absorbe et retient facilement l'humidité (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Lignine	Représente la principale partie non cellulosique du bois. C'est une substance polymérique amorphe qui retient les parties fibreuses ensemble (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Pentose	Sucres comportant cinq atomes de carbone dans une formule chimique : $C_5H_{10}O_5$, par ex. : xylose, arabinose (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)
Xylose	Sucre à cinq atomes de carbone à la saveur sucrée (Le grand dictionnaire terminologique, 2007)

INTRODUCTION

L'arrivée de l'éthanol sur le marché des carburants suscite l'intérêt et le soutien de la part de toutes les parties prenantes à savoir les agriculteurs, les scientifiques, les politiques ainsi que l'opinion publique. La conjoncture qui prévaut favorise l'engouement à l'égard de l'éthanol et de son développement. En effet, la communauté internationale voit en l'éthanol un certain nombre d'avantages à savoir une solution à la problématique des émissions de gaz à effet de serre (GES) engendrées par les transports routiers, une solution à la récente augmentation du prix du pétrole, une voie vers une diversification des approvisionnements en énergie et un débouché intéressant pour les produits agricoles dont les prix sont maintenus par des politiques agricoles. Cependant, depuis peu, ce consensus laisse place à un débat qui divise la communauté internationale. Le soutien affiché des pouvoirs publics à l'égard de l'intégration de l'éthanol dans le secteur des transports exacerbe le débat. Alors que les parties prenantes prêchent les avantages de ce biocarburant les opposants, quand à eux, rappellent que l'utilisation de la biomasse en guise de carburant n'est pas une alternative durable. Pour ces derniers, la voie de l'éthanol ne fait qu'aggraver les problèmes de pauvreté, les injustices sociales, la disparition du patrimoine forestier mondial, la problématique des changements climatiques et de la biodiversité. C'est dans un cadre, où la polémique fait rage, que la présente réflexion va tenter de répondre à la question suivante : Est-ce que le développement du secteur de l'éthanol s'inscrit dans une perspective de développement durable ? Les cinq volets autour desquels s'articule cette réflexion visent, dans un premier temps, à introduire le sujet, dans un deuxième temps, de brosser un portrait des facteurs à l'origine de l'émergence du secteur ainsi que de la situation actuelle en matière de production et de perspectives de développement et dans un troisième temps d'analyser le débat dont l'éthanol fait l'objet pour finalement répondre à la question évoquée.

Plus précisément, le premier volet a pour objectif d'introduire le sujet à savoir la molécule d'éthanol, son histoire, ses caractéristiques intrinsèques, ses différents procédés de fabrication ainsi que les nouvelles avenues en matière de recherche. Le chapitre rappelle également les propriétés que confère la molécule d'éthanol aux carburants usuels notamment à l'essence.

Le deuxième volet, quant à lui, a pour objectif premier de souligner les facteurs à l'origine de l'engouement affiché par les gouvernements à l'égard de la filière de l'éthanol et de son essor. En effet, des facteurs comme la volatilité du prix du baril de pétrole, qui a franchit dernièrement la barre psychologique des 100 \$US, l'incidence des émissions sans cesse croissantes des GES sur l'environnement, l'économie et la société seront approfondies afin de bien cerner le contexte et les raisons associées à l'émergence de la conscience internationale à l'égard du réchauffement climatique et à l'égard du développement durable. Le troisième volet dépeint la situation mondiale à travers la production actuelle et les perspectives de développement de la filière de l'éthanol au niveau des principaux joueurs de ce secteur notamment au Brésil, aux États-Unis et en Europe. Cette partie cherche également à mettre en valeur l'engagement des pouvoirs publics à élaborer des mesures pour réduire les émissions de GES à travers une politique de soutien fiscal de la filière de l'éthanol.

Le quatrième volet vise à décortiquer les arguments forts qui alimentent le débat relatif au développement du secteur de l'éthanol. Cette première analyse vise à faire ressortir les arguments aussi bien en faveur qu'en défaveur de la filière de l'éthanol et ce, pour les trois dimensions qui composent le développement durable à savoir la dimension économique, la dimension sociale et la dimension environnementale. Finalement, le cinquième volet se fixe pour objectif, à la lumière des éléments évoqués, de poursuivre l'analyse du secteur de l'éthanol et d'évaluer sa performance en matière de développement durable. En effet, une analyse, basée sur une approche de questions et réponses, va permettre de juger si le secteur de l'éthanol s'inscrit dans une perspective de développement durable à un niveau tant économique, que social et qu'environnemental.

1. L'ÉTHANOL

Le présent chapitre a pour objectif dans un premier volet de présenter la molécule d'éthanol, ses propriétés physico-chimiques et les points saillants de ses applications industrielles et ce, depuis sa découverte à son utilisation en tant que carburant. Le second volet se penche sur les procédés de fabrication des deux principales filières de production de l'éthanol ainsi que les nouvelles avenues en matière de recherche et développement. Le dernier volet fait la lumière sur les propriétés des mélanges éthanol-essence pour finalement élaborer sur les différents types de mélanges commercialisés sur le marché et les implications que le *gazohol* peut avoir sur les composantes d'un moteur à essence.

1.1. La molécule et ses origines

L'objectif de la présente section est de dresser un bref aperçu des propriétés physiques et chimiques qui caractérisent la molécule d'éthanol ainsi qu'un succinct rappel des origines et des différentes applications industrielles de l'éthanol.

1.1.1. Présentation de la molécule d'éthanol

L'éthanol, l'alcool ou encore l'alcool éthylique sont toutes les trois des appellations qui désignent la même molécule qui est composée de deux atomes de carbone (C), six atomes d'hydrogène (H) et d'un atome d'oxygène (O). Les formules brutes et semi-développées de la molécule d'éthanol sont respectivement le C_2H_6O , le C_2H_5OH et le CH_3-CH_2-OH (Figure 1.1).

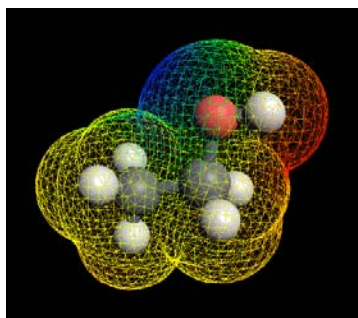


Figure 1.1 Molécule d'alcool éthylique
Source : Tiré de Leiden Observatory (2007)

L'éthanol est obtenu à partir d'un processus de fermentation anaérobie des sucres naturels (ex. : grains de céréales), généralement retrouvés dans les produits biologiques, suivi d'une distillation sous l'action des levures pour la fabrication notamment de boissons alcoolisées tel que le vin ou encore la bière. C'est à partir du XIX^{ème} siècle que le mot « alcool » a commencé à faire référence uniquement à des composés chimiques ayant des caractéristiques communes, soit des oxydes d'alcanes ayant subi une substitution de l'atome d'hydrogène par un groupement hydroxyle (OH) au niveau d'un atome de carbone (CNRS, 2007). En ce qui concerne ses propriétés physiques, l'alcool éthylique est un composé incolore, volatil, hygroscopique, miscible à l'eau et à l'alcool (INRS, 1997). Reconnu pour ses qualités de solvant pour les graisses et les matières plastiques (INRS, 1997), son odeur est détectable à des concentrations variant entre 10 et 350 ppm. En résumé, ses principales propriétés physiques sont résumées au niveau du tableau suivant (Tableau 1.1).

Tableau 1.1 Propriétés physiques de l'éthanol

Masse molaire	Point de fusion	Point d'ébullition	Densité	Densité de vapeur
46,07	- 114 °C	78,5 °C	0,789	1,59
Tension de vapeur			Points d'éclair	
20 °C	34,9 °C	63,5 °C	Coupelle fermée	Coupelle ouverte
5.85 kPa	13,3 kPa	53,3 kPa	12,8	16

Source : Tiré de l'INRS (1997, p. 6)

L'éthanol est un composé qui est chimiquement stable. Il possède toutes les propriétés qui caractérisent les alcools notamment une réaction d'oxydation lorsqu'il est maintenu à l'air libre pour former de l'acide acétique. Par contre, dans des conditions d'oxydation extrême, il se transforme en dioxyde de carbone (CO₂) et en eau (H₂O).

1.1.2. Origines et applications industrielles de l'éthanol

L'étymologie du mot « alcool » viendrait du mot arabe « *al-kuhl* » qui désignait à l'origine une poudre très fine de stibine (SbH₃) connue sous l'appellation de sulfure d'antimoine qui est un gaz toxique incolore caractérisé par une odeur identique à celle de l'ammoniac (NH₃)

(Encyclopédie Hachette Multimédia, 2007). Cette appellation est devenue par la suite un terme générique pour désigner toute substance ou principe volatil tel que l'esprit- de-vin. Au Moyen Âge, le philosophe et médecin perse Abu Bakr Muhammad ibn Zakarîya al-Râzi (865 à 925), à l'aube de la chimie matérialiste, réussit à obtenir de l'alcool pur, par distillation du vin pour des fins d'usage médicinal (Jewish Virtual Library, 2002).

Aujourd'hui, les applications industrielles utilisant l'éthanol sont nombreuses. Au-delà du fait que l'éthanol serve à l'éclairage et au chauffage, il constitue le principe actif de base des boissons alcoolisées, il entre dans la synthèse de produits chimiques tels que les peintures (Tableau 1.2), les vernis, les encres, les matières plastiques, les adhésifs, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques (CSST, 2007). Réputé pour ses qualités de solvant, il est également utilisé dans l'industrie du nettoyage contre les graisses et les matières plastiques. L'éthanol est également utilisé comme matière première pour la synthèse de solutions d'insecticides. En pharmacologie, il est utilisé pour ses propriétés de désinfectant et d'agent antiseptique (CSST, 2007).

Depuis les années 70, l'éventail des applications industrielles de l'éthanol s'est étendu à l'industrie des carburants au point de vouloir en faire, dans des pays comme le Brésil, la principale source d'énergie pour les moteurs à essence. À titre d'information, il est important de souligner que son utilisation en tant que carburant remonte à l'année 1876 lorsque le premier moteur à combustion utilisant de l'essence à l'éthanol a vu le jour grâce au scientifique allemand Nicolaus August Otto (Centre info-énergie, 2007). En 1880, Henry Ford équipe ses quadricycles avec des moteurs semblables pour faire de l'éthanol, en 1908, le principal combustible de son modèle « T ». C'est ainsi que la première usine de fermentation d'éthanol, à des fins de production de carburant, voit le jour dans l'État du Kansas aux États-Unis (Centre info-énergie, 2007). Dans les années 1930, l'éthanol ou encore le *gazohol* (mélange d'éthanol et d'essence), produit à partir de maïs, est offert dans plus de 2 000 stations réparties dans le Mid West américain (Centre info-énergie, 2007). Pour des raisons de coûts de production, les années 40 marquent le retour des carburants, fabriqués à base de pétrole, comme source d'énergie pour les véhicules.

Tableau 1.2 Principales voies de traitement de l'éthanol

PRODUIT DE BASE	PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION	PRODUITS FINAUX
ÉTHANOL	Procédés de déshydratation	Fibre synthétique et antigel
		Agents tensioactifs, épuration de gaz
		Peintures, vernis et textiles
		Tuyaux, tubes de plastique, semelles de soulier et produits électriques
		Agents nettoyants
	Procédés de déshydrogénation	Polyesters
		Agents plastifiants, solvants
	Procédés d'oxydation	Acétates (Éthyles, Butyle etc.)
		Acétates cellulosiques (fils textiles, filtres de cigarette etc.)
		Acétate de polyvinyle (treillis et résine)

Source : Tiré de la CNUCED (2007a)

1.2. Procédés de fabrication de l'éthanol

La production d'éthanol passe par une fermentation anaérobique des sucres suivie d'une distillation. Bien que ces deux étapes soient communes aux différentes filières, les procédés de fabrication diffèrent selon le type de biomasse. Par opposition aux molécules les plus fermentescibles, les sucres aux structures complexes requièrent des traitements préalables avant de pouvoir se rendre disponibles pour subir une fermentation. L'objectif de cette section est de faire la lumière sur les grandes étapes de fabrication de l'éthanol à partir des plantes sucrières (canne à sucre et betterave) et amylacées (blé et maïs) et à partir de la biomasse lignocellulosique pour finalement dresser un bref aperçu des nouvelles filières émergentes de biocarburants.

1.2.1. Production de l'éthanol à partir de grains et de plantes amylacées

Le procédé de fabrication de l'éthanol diffère selon la source de sucre utilisé. En ce qui concerne les plantes (Figure 1.2) notamment la betterave et la canne à sucre, les molécules simples de glucose et saccharose sont extraites par simple diffusion (ADEME, 2004). Le jus de betterave et de canne à sucre fermenté passe par simple distillation pour obtenir de l'éthanol (CNUCED, 2007a).

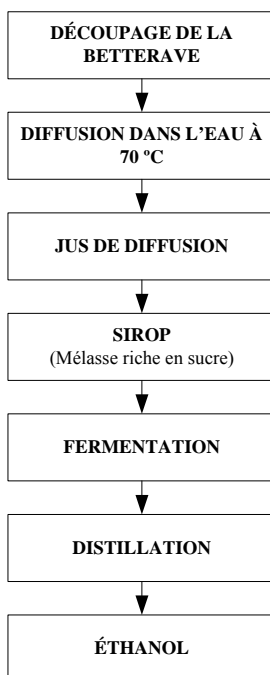


Figure 1.2 Schéma simplifié de la fabrication de l'éthanol à partir de la betterave sucrière
Source : Inspiré de la CNUCED (2007a)

Les plantes amylacées qui regroupent les céréales tels que les grains de maïs ou encore de blé contiennent des sucres polymérisés sous forme d'amidon. Du fait de sa longue chaîne carbonée, l'amidon doit être extrait dans un premier temps par broyage des grains de céréale (Ressources naturelles Canada, 2006a). Le prétraitement mécanique est suivi d'une hydrolyse qui peut se faire par voie sèche ou humide. En ce qui concerne la voie humide, le grain est moulu et ses constituants (gluten et son) sont séparés par lavage. Quant à la voie sèche, les coproduits obtenus sont la drêche connue sous l'appellation anglaise *Dried Distiller Grain and*

Solubles (DDGS) (ADEME, 2004). Pour les deux voies, les opérations de fermentation et de distillation traditionnelles sont les étapes incontournables pour obtenir de l'éthanol.

1.2.2. Filière de la cellulose

Les plantes sucrières et amylacées ne sont pas les seules sources de sucre biologique à partir desquelles l'éthanol peut être produit (Figure 1.3). La biomasse lignocellulosique (partie verte des plantes) est une matière première qui fait appel à des procédés de fabrication différents compte tenu de la structure des molécules qui la composent (CETC, 2006). La biomasse lignocellulosique forme une matrice rigide difficile à déstructurer (IFP, 2006a). Au niveau moléculaire, cette matrice comporte des fractions celluloses et hémicellulosiques, qui sont des sources potentielles de sucre, associées à une fraction de lignine qui par contre ne peut donner d'éthanol par fermentation (IFP, 1999). À l'heure actuelle, des efforts considérables sont fournis en matière de recherche, en particulier aux États-Unis et en Europe, pour améliorer les procédés de fabrication de manière à rendre plus compétitif la filière lignocellulosique (Ballerini et Alazard-Toux, 2006). En France, l'Institut français du pétrole (IFP) est impliqué dans le « Plan national de la recherche sur les biocarburants » et est le leader du projet « *New Improvement for Ligno-cellulosic Ethanol* » (NILE).

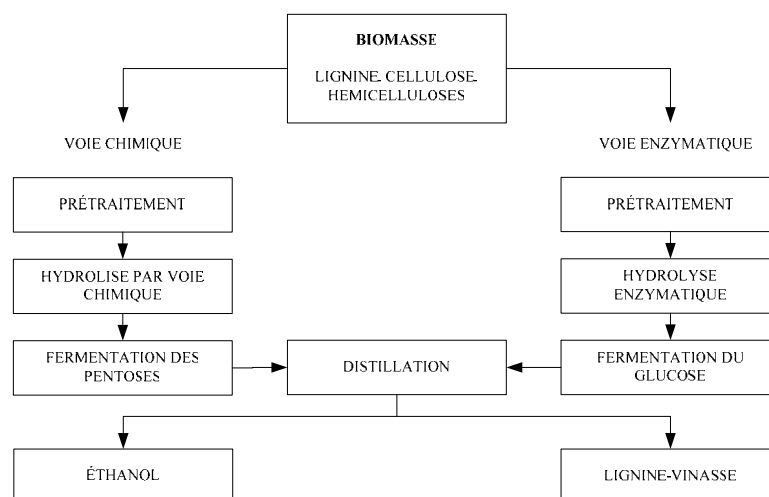


Figure 1.3 Schéma simplifié de la production de l'éthanol à partir de la biomasse lignocellulosique

Source : Inspiré de l'IFP (1999, p. 14)

Les sources de matières premières sont d'origines ligneuses comme les feuillus, les résineux, la paille qui est un sous-produit des activités agricoles et toute industrie qui génère des flux de déchets lignocellulosiques notamment les industries agroalimentaires et papetières (IFP, 1999).

Deux voies caractérisent la production d'éthanol à partir de la biomasse lignocellulosique. Pour les deux voies, chimique et enzymatique, un traitement mécanique est requis pour préparer la matière première. Ce prétraitement consiste à broyer la paille et découper le bois en copeaux (IFP, 2006a). Cette opération a pour objectif de briser les liaisons moléculaires de manière à augmenter leur interface. En ce qui concerne la voie enzymatique, des prétraitements de nature chimique ou thermique peuvent être appliqués pour préparer la matière végétale afin de faciliter l'hydrolyse enzymatique, qui est une étape critique du procédé de fabrication à partir de souches de champignons aérobies *Trichoderma reesei* (IFP, 1999).

La solution obtenue est une mixture d'hémicellulose, de sucres notamment de pentoses, de cellulose et de lignine. L'objectif de cette opération est de dissocier le maximum de molécules de pentose de la fraction lignocellulosique (IFP, 1999).

L'hydrolyse met en œuvre de l'acide sulfurique dilué au niveau de la voie chimique et des enzymes de type cellulase au niveau de la voie enzymatique. L'ajout d'acide dilué porté à une température de 150 °C est une phase cruciale sachant que l'hémicellulose libère des sucres plus rapidement que la cellulose qui les retient du fait de sa structure cristalline et de la présence de lignine (IFP, 1999). Le défi de cette étape est d'augmenter la concentration de la solution d'acide sulfurique afin de libérer davantage de sucres, sans toutefois dénaturer les premières molécules de sucre libérées (IFP, 1999). Quant à la voie enzymatique, le prétraitement modifie les propriétés physico-chimiques de la cellulose et de l'hémicellulose de manière à augmenter l'interface avec les souches enzymatiques pour briser les liaisons carbonées des molécules de cellulose pour libérer du glucose (IFP, 1999). Le coût des enzymes constitue le facteur limitant de cette opération (IFP, 1999). Les travaux actuels se

concentrent sur de nouvelles avenues pour améliorer les procédés de fabrication des souches de cellulases par génie génétique.

Finalement la dernière étape correspond à une fermentation des pentoses, composés de xylose et d'arabinose, de disaccharides et de glucose. Les limites de la fermentation prennent racine dans le fait que les souches de bactéries utilisées pour fermenter les pentoses ne sont pas aussi efficaces que la levure *Saccharomyces cerevisiae* communément utilisée pour fermenter le glucose dont l'équation se présente comme suit (ADEME, 2004) :



Il est important de souligner que la voie chimique décrite est le premier procédé industriel à avoir vu le jour. Cette technologie pèse sur le coût élevé de ce procédé de fabrication qui nécessite des équipements résistants aux conditions corrosives et une maintenance régulière (IFP, 1999). Le coût des intrants (acides) en lui-même fait que la voie chimique est de plus en plus délaissée au profit de la voie enzymatique qui a un avenir beaucoup plus prometteur bien que les coûts de production restent encore peu compétitifs comparativement aux énergies fossiles (IFP, 1999). À titre indicatif, les coûts associés à la production d'un litre d'éthanol à partir de résidus de bois étaient, dans les années 1970, de 2,5 \$/l pour atteindre 0,30 \$/l de nos jours (CETC, 2006).

1.2.3. Les nouvelles filières de biocarburants

À l'heure actuelle, deux types de biocarburants sont commercialisés sur le marché. L'éthanol d'une part, destiné aux véhicules propulsés à l'essence, et les esters méthyliques d'huile végétale (EMHV) d'autre part, issus des plants de colza, de tournesol, de soja ou de palme destinés aux moteurs propulsés au gasoil communément appelés « moteurs diesel ». Le mélange éthanol-essence peut se faire avec de l'éthanol pur directement mélangé à l'essence ou encore il peut réagir avec l'isobutène pour donner l'éthyl-tertio-butyl-éther (ETBE) qui à son tour est mélangé à l'essence (IFP, 2006a).

Toujours dans la catégorie des biocarburants de première génération, il existe d'autres filières qui font appel à des intrants différents notamment de la graisse animale pour produire des esters méthyliques. Les esters éthyliques d'huile végétale utilisent de l'éthanol à la place du méthanol. Le diesel, issu de l'hydrogénation des huiles végétales, ou encore le butanol possède des caractéristiques identiques à celles de l'éthanol et présente l'avantage d'être moins volatile et moins agressif à l'égard de certains composants plastiques du moteur (IFP, 2006a).

L'appellation « biocarburants de seconde génération » est réservée aux biocarburants issus de la biomasse lignocellulosique (IFP, 2006a). Appartiennent à ces familles, l'éthanol produit à partir de biomasse lignocellulosique (la cellulose, la lignine et l'hémicellulose) qui constitue la paroi cellulaire rigide des végétaux. La filière BtL ou encore *Biomass to liquid* peut être fabriquée à partir de la totalité des plantes. Son procédé de synthèse débute par une phase de conditionnement de la biomasse qui précède son injection dans un gazéificateur (IFP, 2006a). La gazéification consiste à produire un gaz de synthèse contenant principalement de l'hydrogène et du monoxyde de carbone (IFP, 2006a). Finalement, la dernière étape est la réaction chimique de Fischer et Tropsch qui est un procédé qui permet de produire soit de l'essence, en présence d'un catalyseur à base de fer, ou du gasoil et kérosène, en présence d'un catalyseur à base de cobalt (IFP, 2006a).

1.2.4. Différents types de mélanges éthanol-essence

Le mélange éthanol-essence (Figure 1.4) existe sur le marché depuis les années 1970 aux États-Unis. La mention de la lettre E pour l'éthanol est souvent accompagnée d'un indice qui renseigne sur la fraction d'éthanol ajoutée à l'essence. Ainsi, l'E5 appelé également *gazohol* est un carburant contenant un volume de 5 % d'éthanol et 95 % d'essence (Olivier, 2003). Les teneurs d'alcool dans l'essence varient énormément entre les pays. Au Brésil, pays le plus avancé en matière d'utilisation de l'éthanol, distribue des carburants au teneur très élevée de l'ordre de 85 % (E85) pouvant aller jusqu'à 100 % d'alcool (E100). Ces niveaux de concentration font d'ailleurs appel à des véhicules adaptés dits *Flex Fuel* (FFV). Les systèmes d'injection, les composants plastiques et les joints utilisés au niveau du moteur, le réglage du moteur pour le démarrage pour n'en nommer que quelques-uns sont des changements

nécessaires pour adapter le véhicule au carburant (IFP, 2006a). Il est à noter que la majeure partie des pays utilise encore de faibles teneurs de l'ordre de 4 %, 5 %, 10 % voir même de 15 %. Les carburants à très fort taux d'éthanol nécessitent des véhicules adaptés. Toutefois, pour des concentrations allant jusqu'à un maximum de 10 % d'alcool, aucune adaptation du moteur n'est requise. Les modifications apportées sont beaucoup plus concentrées au niveau des unités de stockage des mélanges carburant-essence.

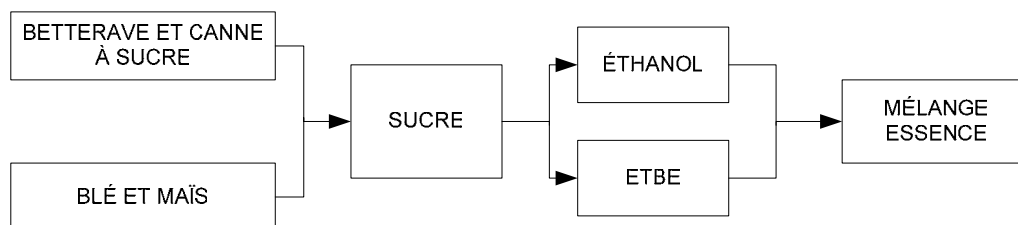


Figure 1.4 Schéma simplifié de la fabrication du mélange éthanol-essence
Source : Inspiré de l'IFP (2006a, p. 6)

À titre d'information, en Europe notamment en France, les esters méthyliques d'huile végétale (EMVH) issus, entre autre du colza ou de l'huile de palme, sont rajoutés au diesel (Figure 1.5) à des teneurs pouvant aller jusqu'à 30 %. À l'instar de l'éthanol, les mélanges de faible concentration ne nécessitent pas de modifications particulières au niveau des moteurs (IFP, 2006a).

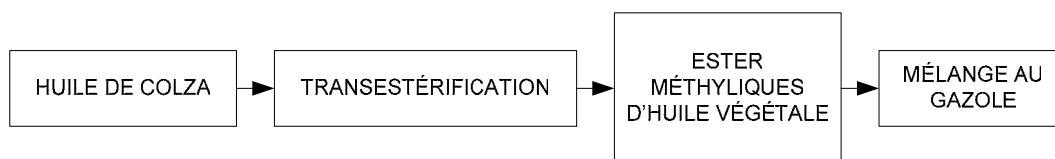


Figure 1.5 Schéma simplifié des étapes de fabrication du mélange EMHV-gazole
Source : Inspiré de l'IFP (2006a, p. 6)

1.3. Effets de l'éthanol sur le rendement du véhicule

L'ajout d'éthanol ou d'ETBE dans l'essence confère à ce dernier des propriétés intéressantes. La présence de l'éthanol relève l'indice d'octane et permet également une meilleure combustion du fait de la présence de molécules d'oxygène.

1.3.1. Effet sur l'indice d'octane

L'indice d'octane est la capacité d'un carburant de fournir de l'énergie au moteur sans toutefois générer de cognement ou encore de cliquetis (Olivier, 2003). Cet indice est un indice d'efficacité des carburants. Les hydrocarbures usuels ne sont pas très performants compte tenu du fait qu'il détonne avant que le piston n'est complété sa course. En d'autre terme, il est l'indice d'efficacité d'une essence (Environnement Canada, 1998). Ainsi, l'ajout d'éthanol ou d'ETBE à l'essence permet de relever l'indice d'octane du carburant et assurer de ce fait un meilleur rendement du moteur.

1.3.2. Effet de l'éthanol sur la volatilité des carburants

« La volatilité est une caractéristique extrêmement importante de l'essence qui influe sur de nombreux paramètres du rendement du moteur » (Environnement Canada, 1998). Le comportement du carburant varie en fonction des saisons. En effet, des problèmes de démarrage peuvent subvenir en période hivernale par manque de volatilité du carburant et par opposition, un carburant trop volatil en été aurait pour conséquence un rendement inférieur du moteur parce que le carburant n'arrive pas en quantité suffisamment importante. L'ajout de l'éthanol dans le carburant confère à ce dernier une volatilité constante assurant de ce fait un meilleur rendement du moteur (Environnement Canada, 1998).

1.3.3. Effet sur la consommation de carburant

Il est entendu que l'apport d'oxygène à travers la molécule d'éthanol améliore considérablement la combustion du carburant. En matière de consommation, les moteurs alimentés par un mélange éthanol-essence sont plus gourmands du fait de leur faible pouvoir calorifique par rapport à celui conféré par l'essence pure. La consommation est 2 % voir 3 % supérieure dans le cas des moteurs alimentés au mélange éthanol-essence (Ressources naturelles Canada, 2004a).

1.3.4. Effet sur la solubilité de l'eau et la démixtion

Une essence contaminée fait référence à la présence d'une phase aqueuse dans le réservoir d'un véhicule. La présence d'eau dans l'essence vient souvent des mauvaises conditions d'entreposage du carburant au niveau des points de distribution pour le grand public. Ainsi, une fois dans le réservoir, l'eau du fait de sa densité, a tendance à aller se loger dans la partie inférieure de ce dernier où se trouve le point d'alimentation du moteur en carburant. Le mélange éthanol-essence et l'eau forment un liquide homogène compte tenu du caractère miscible de l'éthanol (Environnement Canada, 1998).

2. ORIGINES D'UN MARCHÉ EN ÉMERGENCE

Le présent chapitre a pour objectif premier de dresser un portrait des facteurs à l'origine de l'émergence du marché des biocarburants, lequel est nourri par un marché du pétrole en crise, des impacts préoccupants sur l'environnement, sur l'économie et sur la société. Finalement, il rappelle l'éveil de la conscience internationale à l'égard de la problématique du réchauffement climatique.

2.1. Orientations stratégiques

La présente section souligne le caractère volatil du prix du pétrole à travers les divers soubresauts que le marché de l'offre et de la demande a enregistré depuis le premier choc pétrolier en 1973. Elle fait la lumière sur les deux écoles de pensée qui divisent économistes et scientifiques sur les notions de réserve pétrolière et de pic de production. Enfin, elle met en exergue la part du secteur des transports en matière de consommation énergétique et sa dépendance à l'égard des produits pétroliers.

2.1.1. La demande du pétrole face à l'offre

Une brève rétrospective du prix du pétrole permet de comprendre le caractère volatil de ce marché. À la veille du premier choc pétrolier de 1973, le marché mondial du pétrole se caractérisait par une offre excédentaire et un prix du baril stable. À cette période, la consommation énergétique à base d'hydrocarbures représentait 70 % du marché de l'énergie (Babusiaux *et al*, 2007). Cette tendance est en constante augmentation depuis lors. La dépendance à l'égard de l'or noir est nette. La figure suivante (Figure 2.1) fait ressortir la consommation en pétrole par habitant en 2006.

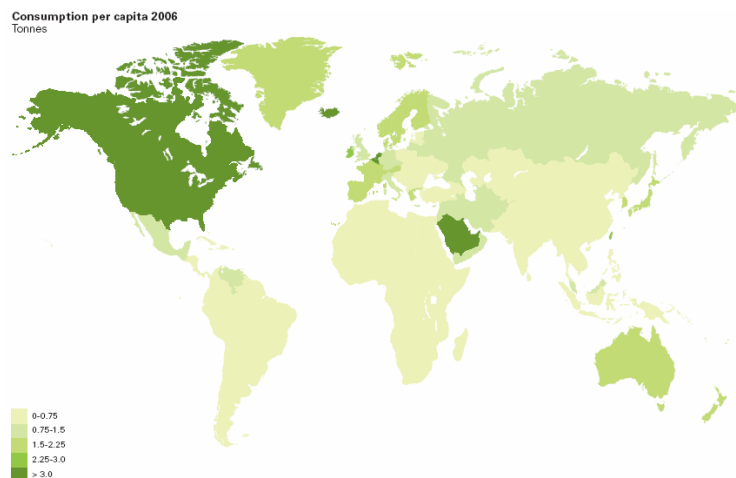


Figure 2.1 Consommation de pétrole par habitant en tonnes, pour l'année 2006
Source : Tiré de BP (2007, p. 17)

Le 5 octobre 1973, la guerre du Yom Kippour oppose la Syrie et l'Égypte contre Israël. Le cartel de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) décide de placer un embargo pour baisser l'offre à tous les pays qui soutiennent l'État d'Israël (Kergueris et Saunier, 2005). Le prix du baril quadruple passant de 2,59 \$US à 11,65 \$US. En 1979, la révolution islamique en Iran doublée de la guerre qui oppose l'Iran à l'Irak déclenche le second choc pétrolier qui ébranle à nouveau le marché du pétrole (Ministère des finances et de la privatisation, 2006). Le prix du pétrole passe en 1981 de 14 \$US à 35 \$US le baril (Figure 2.2).

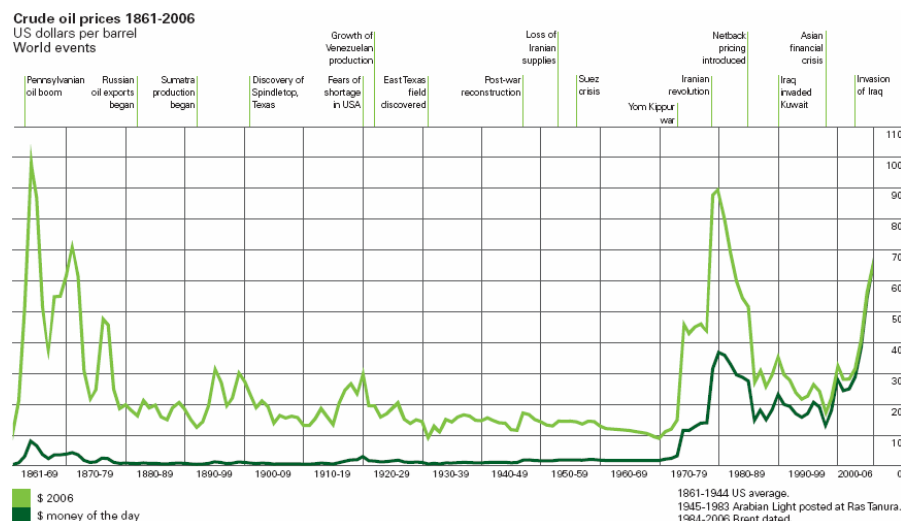


Figure 2.2 Prix du pétrole entre 1861 et 2006
Source : Tiré de BP (2007, p. 17)

Entre 1981 et 1986, c'est la période du contre choc pétrolier (CNUCED, 2007b). La forte hausse du prix du pétrole engendre l'émergence de nouveaux gisements dans de nouvelles régions géographiques notamment l'Alaska, le Mexique et la région de la Mer du Nord, jusque là considérées peu rentables. Face à cette instabilité du prix du pétrole, de nouvelles politiques énergétiques émergent avec pour vision de diversifier les sources d'énergie, laquelle orientation qui s'est d'ailleurs traduite en France par le développement de la filière du nucléaire (Kergueris et Saunier, 2005).

En 1987 et en 2000, le marché du pétrole est ébranlé à nouveau suite à l'invasion du Koweït par l'Irak, et l'effondrement, en 1999, des marchés financiers du sud-est asiatique (IFP, 2003a). Le prix du baril descend sous la barre des 10 \$US. Les événements du 11 septembre 2001 entraînent la chute de la demande du pétrole causée essentiellement par un ralentissement du trafic aérien (IFP, 2003a).

Depuis l'année 2003, le marché mondial du pétrole est dominé par une demande croissante motivée par des facteurs conjoncturels notamment un hiver rigoureux qui sévit dans l'hémisphère Nord entre les années 2002 et 2003, la hausse des prix du gaz aux États-Unis, l'arrêt temporaire des centrales nucléaires au Japon et la fulgurante croissance économique qu'enregistre la Chine dont la population adopte un comportement de consommation de masse notamment en matière de transport (IFP, 2004a). La protection des consommateurs chinois face aux variations du cours du pétrole et le rationnement en électricité de certaines industries sont les deux facteurs à l'origine de la hausse, de 30 %, de la consommation mondiale en hydrocarbures (IFP, 2004a). La montée frénétique de la consommation de la société chinoise est à l'origine de la rupture avec les tendances passées du marché. Toutefois, les États-Unis reste le principal pays consommateur de pétrole mondial lequel est appuyé par un président pour qui « le mode de vie des citoyens américains n'est pas négociable » (L'Humanité, 2004).

En août 2007, le prix du baril atteint 78,77 \$US. Selon le directeur exécutif de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) «La hausse des prix du pétrole est préoccupante». Selon ce dernier, « les réserves abondantes se trouvent dans des régions fermées aux investissements occidentaux, comme le Moyen-Orient, la Russie et le Venezuela » (L'Expansion, 2007). Face

à cette flambée du prix du pétrole, la demande de 2006 a subi une légère réduction encouragée par des transitions vers le gaz naturel et l'industrie du charbon (L'Expansion, 2007).

Il ressort de ce tour d'horizon sur l'évolution du prix du pétrole qu'en dehors des facteurs fondamentaux qui régissent le marché du pétrole, de nouveaux paramètres viennent aggraver la notion de sécurité énergétique dont dépend l'humanité.

2.1.2. État des stocks du pétrole et perspectives

Depuis la découverte du premier gisement de pétrole en 1859 en Pennsylvanie, la tendance mondiale de la demande en hydrocarbures pétroliers ne cesse de croître. Selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), les réserves mondiales de pétrole tendent à tarir dans les quarante prochaines années (OCDE, 2004). Certaines nuances associées à la notion de réserve pétrolière sont cependant à distinguer. La *Society of Petroleum Engineers* (SPE) et le *World Petroleum Council* (WPC) attribuent des définitions distinctes pour les réserves dites prouvées, probables et possibles.

« Les réserves prouvées sont des réserves établies à partir d'informations géologiques et techniques qui permettent d'estimer avec une certitude raisonnable comme étant susceptibles d'être produites à partir de réservoirs connus dans des conditions technologiques et économiques du moment » (Lalumière et Richard, 2002, p. 17).

Les réserves probables et possibles font références à des réserves pétrolières qui respectivement ont 50 % et 5 % à 10 % de chance d'exister réellement (Kergueris et Saunier, 2005). Dépendantes des découvertes géologiques, les prédictions associées aux réserves pétrolières ont quantitativement évolué avec le temps. De nos jours, cette notion est mise de côté au profit de la notion de ressource ultime récupérable ou absolue qui fait référence aux quantités de pétrole disponibles ultimes parce qu'elles sont connues ou qu'une projection est faite à partir de la fraction connue (Olivier, 2003). Selon l'AIE, les réserves prouvées sont de l'ordre de 1 000 milliards de barils. Quant aux réserves probables et possibles leur niveau est également de 1 000 milliards de barils. La problématique associée à l'évaluation des réserves pétrolières repose, entre autres, sur le fait que ces définitions sont très peu respectées ouvrant

la voie à des données biaisées. Dans certains cas, les réserves sont prouvées lorsqu'elles sont à 58 % sûr d'exister (Kergueris et Saunier, 2005). En dehors des États-Unis (Tableau 2.1) qui se basent sur la somme des réserves prouvées, la notion de réserve correspond à la somme de 100 % des réserves prouvées, 50 % des réserves probables et 25 % des réserves possibles (Manicore, 2007).

Tableau 2.1 Réserves de pétrole par pays au 1^{er} janvier 2004

Pays	Réserves exprimées en milliards de barils	Années de réserve
États-Unis	21,4	11
Venezuela	77,2	82
Iran	125,8	86
Iraq	115	157
Koweït	102	118
Émirats Arabes Unis	97,8	108
Nigéria	35	41
Libye	39	71
Algérie	11,8	19

Source : Tiré de Planète Énergies (2007)

L'estimation des réserves pétrolières relève de plusieurs facteurs à savoir :

- Des facteurs d'ordre purement géologiques, faisant référence aux quantités réellement présentes dans le sous-sol de la planète. Pour les géologues, le monde serait au bord de la pénurie;
- Des facteurs économiques avec notamment une demande sans cesse croissante ayant pour conséquence une augmentation brutale des cours du prix du baril, franchissant dernièrement la barre des 93 \$US. Le prix du baril est un facteur déterminant dans l'évaluation des réserves sachant que les gisements originellement peu rentables peuvent le devenir lorsque le prix du pétrole dépasse certains seuils faisant par voie de conséquence augmenter le niveau des réserves prouvées (Planète Énergies, 2007).
- Des facteurs politiques, soit la recrudescence des tensions géopolitiques (Ministère des finances et de la privatisation, 2006) dans la région du Moyen-Orient doublée des orientations de production des pays de l'OPEP dont les quotas dépendent du volume des

réserves (Planète Énergies, 2007). D'un point de vue politique, la publication de chiffres relatifs aux réserves qu'un pays détient a un impact sur l'échiquier du marché du pétrole.

- Des facteurs techniques qui permettent de maintenir les coûts d'exploitation relativement bas et de surcroît permettre l'exploitation de nouveaux gisements pétrolifères encore à ce jour inexploités (Kergueris et Saunier, 2005).

La problématique associée à la satisfaction des besoins en énergie, notamment avec l'émergence de nouvelles économies comme celles de la Chine et l'Inde, à l'origine de la demande supplémentaire en hydrocarbures au cours des trois dernières années (Séréni, 2007), ravive le débat entre les deux écoles de pensée divisant les optimistes et les pessimistes. Les optimistes composés majoritairement d'économistes basent leur thèse sur le fait que les scénarios alarmistes associés à la raréfaction des ressources ont été démentis au cours du temps telles que les prévisions qui avaient été formulées au XIX^{ème} siècle à l'égard du charbon (IFP, 2003a). Pour ces derniers les avancées technologiques permettent de trouver des issues pour alimenter le marché mondial. En 1973, les réserves avaient été estimées à 40 ans de production alors qu'aujourd'hui ce chiffre est toujours d'actualité. Les réserves considérées à une certaine époque non conventionnelles (7 000 milliards de barils dont 23 % d'huile lourde, 39 % sous forme de sables bitumineux et 38 % de schistes bitumineux), par opposition aux réserves conventionnelles pouvant être produites dans des conditions techniques et économiques actuelles et prévisibles dans le futur (Kergueris et Saunier, 2005), deviennent avec le temps des réserves exploitables. Les gisements localisés à des profondeurs supérieures à 200 mètres étaient considérés non conventionnels alors qu'aujourd'hui les réserves non conventionnelles sont localisées à des profondeurs allant au-delà de 6 000 mètres en dessous du niveau de la mer. Tel que mentionné antérieurement, le prix élevé du pétrole permet de considérer l'exploitation de nouveaux gisements dont l'exploitation était considérée peu rentable à ce jour, faisant ainsi des réserves de schistes et sables bitumineux de la région de l'Athabasca, dans la province de l'Alberta, des réserves conventionnelles. Le cours du baril et les avancées technologiques jouent le rôle de frontière entre les réserves conventionnelles et non conventionnelles.

Les pessimistes, scientifiques géologues regroupés au sein de l'*Association For the Study of the Peak of Oil* (ASPO), soulignent la fragilité des réserves. Ils estiment que l'atteinte du pic

de production est prévue aux alentours de 2010. Date à partir de laquelle « la moitié des quantités de pétrole produites représentent la moitié des ressources ultimes disponibles sur notre planète » (IFP, 2003a). À quelques années près, la *United States Geological Survey* (USGS) estime que le pic de production serait atteint entre 2020 et 2030. Pour ces derniers, le cycle d'exploitation d'une ressource suit une distribution gaussienne (Olivier, 2003), qui se traduit par une disparition rapide de la ressource une fois le pic de production franchit. La durée efficace d'exploitation est la même quel que soit le niveau des réserves. En effet, « des réserves supplémentaires permettraient d'augmenter le cycle de production dans une société de consommation » (Olivier, 2003).

2.1.3. Besoins énergétiques du secteur des transports

Le secteur des transports est le principal consommateur de produits pétroliers et ce, à travers le monde. Il est à l'origine d'environ 50 % de la demande en produits pétroliers en 2002 alors qu'en 1973, il n'en représentait que 42 % (IFP, 2004a). Selon l'AIE, la tendance est à la hausse à raison de $1^{2/3}$ % par année et ce, jusqu'en 2030 (OCDE, 2004).

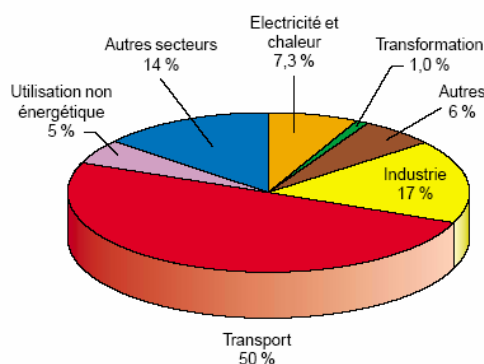


Figure 2.3 Consommation de produits pétroliers dans le monde en 2002 : 3,5 Gtep
Source : Tiré de l'IFP (2004a, p. 1)

Les secteurs des transports (Figure 2.3) des États-Unis, du Japon et de l'Europe sont responsables de 50 % de la consommation mondiale (IFP, 2004a). Au Canada, le secteur des transports absorbe, en 1994, 30 % de l'utilisation finale de l'énergie (Environnement Canada, 2007a). Au Québec, le secteur des transports (Figure 2.4) fait partie de la catégorie des industries consommatrices de produits pétroliers avec une part de 44,1 % pour le transport des

personnes et 25 % pour celui des marchandises (MRNF, 2005). Entre 1990 et 2005, la consommation en produits pétroliers a augmenté de 26 % (MRNF, 2007). La part du secteur du transport en matière de consommation de produits pétroliers serait, en 2016, pour le transport des personnes et des marchandises respectivement de 44,5 % et 26,8 % (MRNF, 2005).

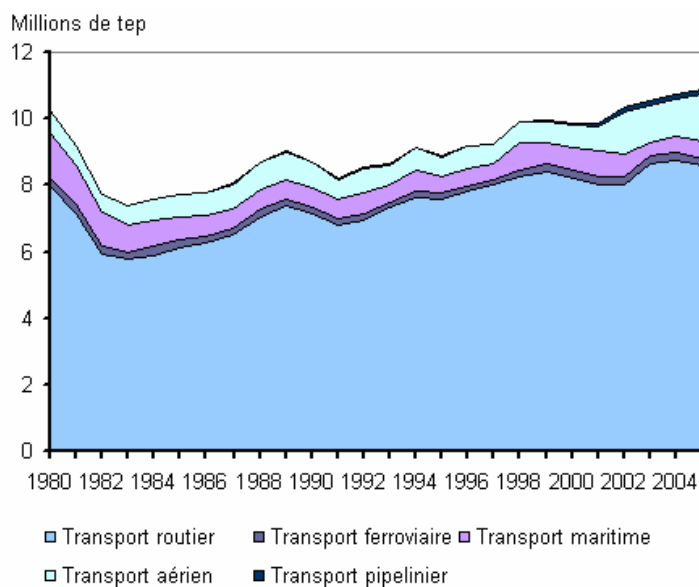


Figure 2.4 La consommation d'énergie selon les modes de transport au Québec (1980-2005)
Source : Tiré du MRNF (2007)

La typologie de ce secteur fait ressortir la part du secteur du transport routier à l'origine de 78,6 % de la consommation d'énergie alors que les transports ferroviaire, maritime et aérien sont à l'origine respectivement de 2,23 %, 6,52 % et 12,69 % de la consommation de produits pétroliers. En l'espace de 10 ans, soit entre 1992 et 2002, le transport routier a enregistré une augmentation de plus de 15 % (MRNF, 2004). À travers le monde, la tendance est similaire. Le transport routier est le mode de transport le plus consommateur d'énergie avec 81 % de la demande (Figure 2.5).

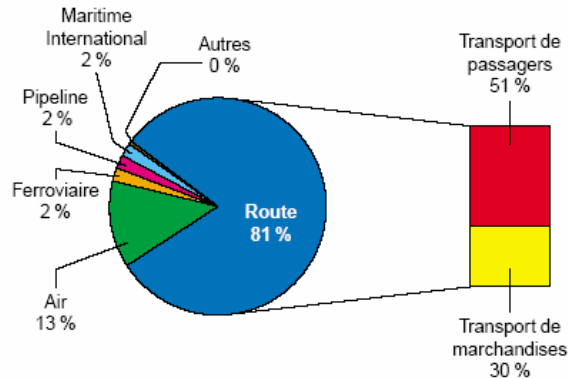


Figure 2.5 Répartition de la consommation d'énergie dans le secteur du transport en 2001
Source : Tiré de l'IFP (2004a, p. 3)

Ce chiffre s'explique par la taille d'un parc automobile mondial composé de 600 millions de véhicules particuliers et 209 millions de véhicules utilitaires (IFP, 2004a). Les États-Unis arrivent en tête de liste avec des ratios de l'ordre de 775 véhicules particuliers pour une population de 1 000 habitants (IFP, 2004a). Quant au transport des marchandises, ce secteur est étroitement lié à la croissance qu'enregistre le commerce international ayant pour impact direct un nombre de kilomètres parcourus élevé. Dans un environnement de compétition, deux facteurs soutiennent ces chiffres, soient l'occupation de l'espace et un niveau de production basé sur une gestion en flux tendus également connu sous l'appellation anglaise « *Just In Time* » (JIT). Compte tenu des délais, le transport routier est encore aujourd'hui prisé par l'industrie pour être en mesure de répondre rapidement à une clientèle de plus en plus exigeante. L'émergence des économies chinoise et indienne accentue cette tendance. Le ratio actuel en Chine est de 9 véhicules pour 1 000 habitants, soit un total de 4,4 millions de véhicules. Le parc automobile de la Chine représente, en 2004, 20 % du parc automobile mondial. Selon les experts, la tendance est à la hausse (IFP, 2004a).

2.2. Changements climatiques

La présente section, dans un premier temps, rappelle brièvement le mécanisme d'effet de serre et les différents types de GES responsables du phénomène de réchauffement climatique. Dans un deuxième temps, elle met en relief la part des GES émis par le secteur du transport pour dresser un bref bilan de leurs impacts sur l'environnement, sur l'économie et sur la société.

2.2.1. Situation climatique : Les GES

L'effet de serre est un phénomène naturel par lequel l'énergie du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère y est retenue pour maintenir la température à la surface du globe terrestre autour de +15 °C. En l'absence de ce phénomène, la température ambiante serait de -18 °C. Quel est le mécanisme qui entraîne ce réchauffement ? Ce phénomène prend racine dans le fait que les radiations renvoyées par le globe terrestre vers l'atmosphère sont captées au cours de leur trajet par des molécules présentes dans la troposphère. L'énergie captée induit, entre autres, le mouvement des atomes, les uns par rapport aux autres, libérant de l'énergie sous forme de radiations infrarouges vers la troposphère et l'atmosphère entraînant ainsi son réchauffement (Olivier, 2003). Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la concentration des GES a nettement augmenté au cours du dernier siècle. La concentration (Tableau 2.2) du dioxyde de carbone (CO₂) est passée de 280 ppm à environ 367 ppm, entre les années 1750 et 2000 (ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 2000).

Tableau 2.2 Concentrations atmosphériques et potentiel de réchauffement planétaire de certains GES

Gaz à effet de serre	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentration en 1750	280 ppm	700 ppb	270 ppb
Concentration en 1998	365 ppm	1745 ppb	314 ppb
Augmentation de la concentration	30 %	150 %	16 %
Potentiel de réchauffement planétaire	1	23	296
Temps de séjour atmosphérique	50 à 200 ans	12 ans	114 ans

Source : Tiré du ministère de l'Environnement (2002)

Le CO₂ reste la molécule la plus problématique compte tenu de son temps de résidence dans la troposphère évalué à un maximum de deux siècles. Selon les modèles, « la concentration de CO₂ dans l'atmosphère équivaldrait à plus du double de la concentration de l'époque préindustrielle » (ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 2000). En 1990, les émissions mondiales de CO₂ dues aux activités humaines s'élèvent à environ

33 144 000 kilotonnes-équivalent de CO₂, soit une moyenne de 6,3 kilotonnes-équivalent par personne (ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 2000). Cette situation est le résultat d'une activité humaine intense caractérisée par une utilisation accrue de sources énergétiques fossiles. Depuis 1958, 60 % de l'augmentation des concentrations des GES s'est produite sous l'impulsion de combustibles fossiles (Environnement Canada, 2007b). Pour le GIEC, les GES sont responsables de l'augmentation de 20 % de la température pendant la dernière décennie (Tableau 2.3). Il s'agit du plus grand changement observé depuis les 200 dernières années (Radio Canada, 2007a). Le GIEC attribue aux activités humaines les changements climatiques qui s'opèrent et ce, depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle (Académies et Conseil économique et social, 2006). La famille des GES compte également, la vapeur d'eau (H₂O), le méthane d'origine anthropique, les hydrochlorofluorocarbones (HCFC), les chlorofluorocarbones (CFC), l'hexafluorure de soufre (SF₆) et l'ozone (O₃) troposphérique responsable du smog urbain.

Tableau 2.3 Émissions mondiales des principaux gaz à effet de serre - Total des émissions de CO₂, de CH₄ et de N₂O en 1990

	GAZ À EFFET DE SERRE		Population (Millions)
	Mt éq. CO ₂	Tonnes / Capita	
Total mondial	33 144	6,3	5 292
Océanie	1,4 %	20	23
Canada	1,8 %	22	27
Moyen-Orient	3,5 %	5,6	206
Japon	3,8 %	10	124
Europe de l'Est	4,0 %	11	124
Asie de l'Est	4,1 %	3,7	370
Afrique	6,6 %	3,4	643
Inde	6,8 %	1,9	1 158
Amérique latine	8,6 %	6,5	441
Chine	12,6 %	3,3	1 263
Europe de l'Ouest	12,9 %	11	375
Ex-Union soviétique	14,2 %	16	289
États-Unis	18,8 %	25	250

Source : Tiré d'Environnement Canada (2007b)

Avec une part de 18,8 % en 1990, les États-Unis est le pays qui occupe la première place en matière d'émissions de GES avec une population qui représente 4,7 % de la population mondiale (ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 2000). Les émissions atmosphériques du Canada sont passées en l'espace de sept années de 601 000 à 682 000 kilotonnes-équivalent CO₂, soit une augmentation de 13,5 % avec une moyenne par personne au Québec (Figure 2.6) de 12 tonnes-équivalent CO₂ (ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 2000).

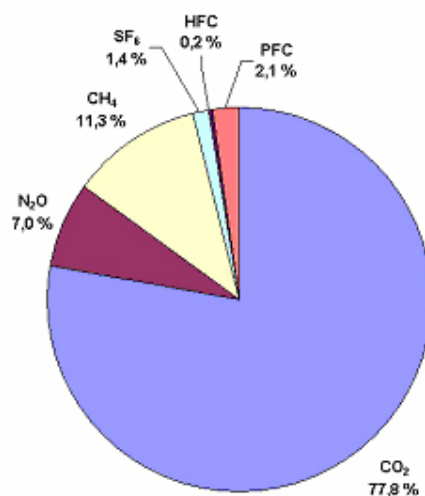


Figure 2.6 Répartition des émissions de GES au Québec selon le type de gaz en 2003
Source : Tiré du ministère de l'Environnement (2002)

2.2.2. Part du secteur des transports

Le secteur des transports (routier, ferroviaire, marin et aérien) est positivement proportionnel au niveau d'activité économique d'un pays ou d'une région. L'élasticité du secteur du transport par rapport au développement économique implique une augmentation de 1 % du produit intérieur brut (PIB) soit en moyenne 2 % de progression dans ce secteur (Figure 2.7).

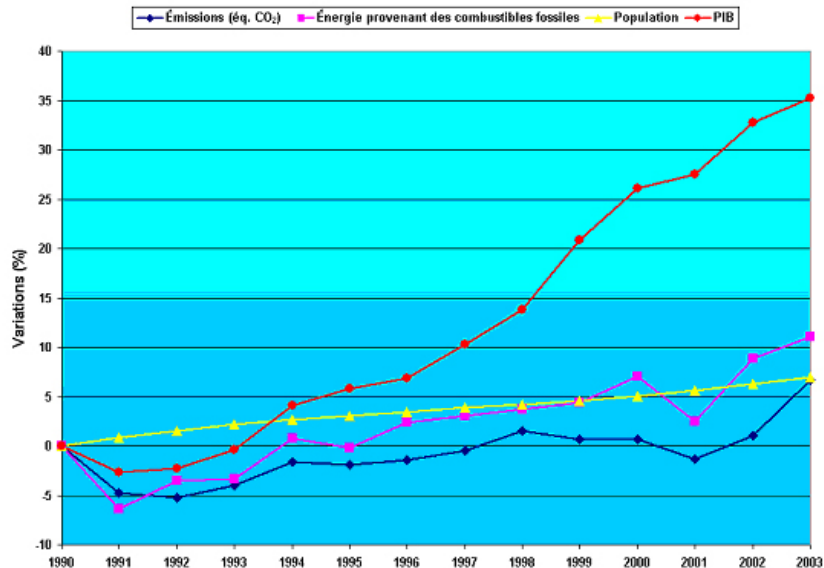


Figure 2.7 Variations en pourcentage des émissions de GES, du PIB, de la population et de la consommation d'énergie provenant des combustibles fossiles, au Québec, depuis 1990
Source : Tiré du ministère de l'Environnement (2002)

Du fait de la conjoncture économique mondiale, le transport est un secteur responsable d'une grande partie des émissions de GES. Au Québec, la moyenne des émissions est de 12,1 tonnes/habitant en 2003 (ministère de l'Environnement, 2002). Le secteur du transport au Québec représente 37,4 % des émissions globales (Figure 2.8). Le transport routier est responsable de 85,9 % des émissions de GES. Les émissions proviennent à 70 % des émissions de moteurs à essence et la fraction restante provient de moteurs diesel (Francoeur, 2007).

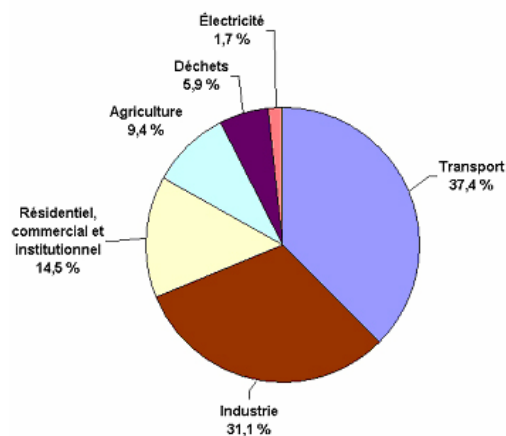


Figure 2.8 Répartition des émissions de GES au Québec par secteur d'activité en 2003
Source : Tiré du ministère de l'Environnement (2002)

Selon le MDDEP, le secteur du transport routier est à l'origine d'une hausse de 19,9 % des émissions observées pour l'ensemble du secteur des transports entre 1990 et 2003. En terme de quantité, les émissions associées à ce secteur sont passées de 24 Mt équivalent de CO₂ à 29,2 Mt équivalent de CO₂.

En France, la tendance est similaire, le secteur du transport est responsable de 27 % des émissions de GES, avec 35 % de CO₂ sachant que 96 % du secteur dépend de produits pétroliers (ADEME, 2007).

2.2.3. Incidences des changements climatiques sur l'environnement

Les pressions exercées sur l'environnement sont le résultat de la variabilité naturelle renforcée par une pression anthropique motivée par une demande sans cesse croissante de ressources naturelles. Les variations de température enregistrées, représentent l'indicateur le plus parlant qui confirme l'augmentation de GES dans l'atmosphère. Au cours des cents dernières années, la température moyenne mondiale à la surface du globe est passée de 0,3 à 0,6 °C (ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 2000). Les précipitations ont augmenté de 5 à 10 % dans les hautes latitudes et ont diminué de 3 % dans les zones subtropicales (GIEC, 2002). Le pôle Nord a enregistré en 40 ans une diminution de 10 % de sa superficie réduisant ainsi le territoire de vie et de chasse de plusieurs espèces animales. Selon l'économiste anglais Sir Nicholas Stern :

«L'état actuel de la planète est tellement inquiétant que même un arrêt complet de la pollution ne parviendrait pas à arrêter les conséquences des gaz à effet de serre déjà dans l'atmosphère. Le réchauffement du climat continuerait pendant encore une trentaine d'années avec des effets importants sur le climat » (Radio Canada, 2006).

Le GIEC abonde dans le même sens des conclusions apportées par le rapport Stern notamment sur le fait que même si l'émission de GES se stabiliserait, les changements climatiques notamment la hausse de la température et du niveau des océans continueraient dans le temps (Figure 2.9). En effet, « ...les changements climatiques renforcent l'appauvrissement de la biodiversité... » (GIEC, 2002). Une hausse de température de 2 °C sur l'écosystème serait à

l'origine de la disparition de 15 à 40 % des espèces animales existantes (ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 2000).

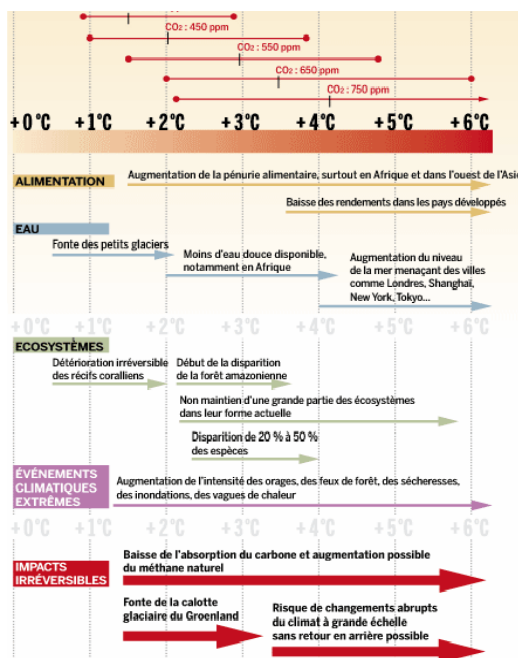


Figure 2.9 Impacts sur l'environnement en fonction de l'augmentation de la température
Source : Tiré de Stern (2006a, p. v)

Les prévisions pour la fin du XXI^{ème} siècle sont alarmantes avec une augmentation de la température à la surface du globe de 1,4 à 1,8 °C (GIEC, 2002). Quant au niveau des océans, les chiffres avancés sont de l'ordre de 0,09 à 0,88 mètre entre 1990 et 2100. Une remontée des eaux aurait pour conséquence une disparition de 20 % des zones humides réputées pour la richesse du patrimoine génétique qu'elles renferment. Les effets des changements climatiques sur la faune se reflètent au niveau de trois éléments à savoir la répartition géographique des espèces, leur phénologie et enfin l'organisation des communautés animales. Il ressort de ces changements des modifications de l'habitat des espèces induisant des migrations importantes vers les hautes latitudes et les hauteurs à la recherche d'environnements biotiques adéquats. Les aires de répartition des papillons se sont peu à peu déplacées vers le pôle (GIEC, 2002). Une étude menée sur le continent européen avec 35 espèces de papillons connues pour leur caractère sédentaire, a mis en évidence le fait que ces dernières se sont déplacées sur une distance de 240 km au cours du XX^{ème} (GIEC, 2002). Sur un total de 93 études menées sur 677 espèces, 62 % d'entre elles mettent en évidence que les dates spécifiques reliées à des

comportements associés à la reproduction des espèces, étroitement liés à l'environnement, avancent à un rythme de 2,3 jours en moyenne par décennie et que pour 9 % d'entre eux, la phénologie est retardée (Francvert, 2005a).

2.2.4. Incidences des changements climatiques sur l'économie

Alors que les études dédiées à l'évaluation des impacts causés par les changements climatiques sur l'environnement foisonnent, peu d'études essaient d'évaluer l'ampleur et le coût des impacts sur l'économie. Bien que les résultats des modèles soulignent le fait que les pays du Nord sont mieux armés pour absorber le contrecoup des impacts que les pays du Sud, le GIEC soutient dans son troisième rapport que « selon les projections faites, il y aurait plus de personnes affectées que de personnes qui en tireront profit » (Francvert, 2005b). Selon le dernier rapport de Sir Nicholas Stern « le réchauffement climatique coûtera 7 500 milliards de dollars à l'économie mondiale, si des mesures draconiennes ne sont pas prises d'ici 10 ans » (Radio Canada, 2006).

Il ressort des études économiques réalisées que les impacts du réchauffement climatique sur l'économie évoluent de manière relativement faible en fonction des premiers changements pour s'aggraver si la hausse de la température moyenne à la surface de la Terre perdure. La figure suivante (Figure 2.10) met en relation la productivité économique et les trois piliers de l'économie à savoir le capital financier (K), le capital humain (L) et la qualité de l'environnement (E).

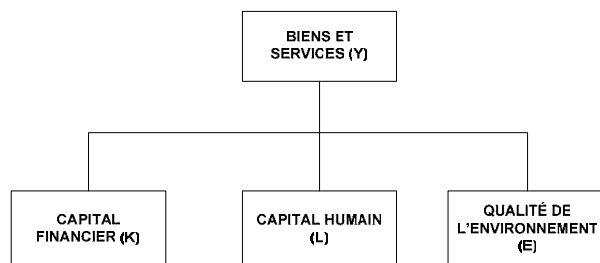


Figure 2.10 Fonction de la productivité
Source : Tiré de Stern (2006b, p. 3).

La situation économique à une échelle mondiale, nationale ou locale est largement dépendante de la qualité de l'environnement dont la détérioration se traduit par une réduction de la production de biens et services. Les économies en transition sont plus vulnérables que celles des pays du Nord parce qu'elles reposent généralement sur un secteur agricole fortement dépendant d'une ressource rare, l'eau (Francvert, 2005b). Selon le Secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies, les changements climatiques seraient à l'origine d'une chute de production, de l'ordre de 5 % des cultures céréalières en 2080 (Réseau Action Climat France, 2007).

Les secteurs financiers et notamment les assurances doivent composer avec des éléments nouveaux, soit la multiplication des sinistres à travers le monde. En France, entre 1960 et 2007, le coût des catastrophes naturelles a plus que triplé (Réseau Action Climat France, 2007). Le typhon Maemi, qui a frappé la Corée du Sud, a coûté à la compagnie Swiss Re huit milliards de dollars. Pour le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE)

« L'accroissement de la fréquence des catastrophes climatiques met en danger l'équilibre financier des compagnies d'assurance, de réassurance et des banques, au point de les affaiblir et de les conduire à la faillite. Les pertes économiques dues aux catastrophes naturelles dans le monde devraient doubler tous les dix ans. Dans les dix prochaines années, elles atteindront 150 milliards de dollars par an » (Réseau Action Climat France, 2004).

A titre informatif, les récentes études macroéconomiques soulignent que le PIB s'abaisserait de 0,6 % et 3 % à long terme (2015) si les pays se fixent l'objectif de réduire les émissions de GES de 6 % immédiatement.

2.2.5. Incidences des changements climatiques sur la société

Sir Nicholas Stern évalue à 200 millions le nombre de déplacés suite à une élévation du niveau des océans. Le président du GIEC, Rajendra Pachauri, Prix Nobel de la Paix 2007, avance le chiffre de 150 millions de réfugiés du climat d'ici 2050 (Terre Sauvage, 2006). Le cyclone Katrina, largement médiatisé, illustre le phénomène d'exode. En effet, les populations localisées dans les zones côtières sont vulnérables face à de telles catastrophes naturelles. Cet

argument est d'autant plus inquiétant lorsque les chiffres du PNUE soutiennent que 40 % de la population mondiale est justement localisée à moins de 60 kilomètres des côtes. À l'instar de la Nouvelle-Orléans, 10 % (14 millions) de la population du Bangladesh est sérieusement menacée par la montée du niveau des océans. En effet, 14 millions de la population est confinée dans la région du Delta de ce pays.

En matière de santé, les rapports de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) rapportent que plusieurs cas de diarrhées sont étroitement liés aux vagues d'inondation et de sécheresse. La vague de chaleur qui a sévi à Chicago en juillet 1995 est responsable de la mort par déshydratation de 514 personnes et de plus de 3 000 admissions aux services des urgences au niveau des hôpitaux (OMS, 2007).

Selon le GIEC, le bilan social notamment la dégradation de la santé humaine et la hausse du taux de mortalité engendrée par des conditions climatiques extrêmes est lourd. L'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur, la dégradation de la qualité de l'air, le smog urbain sont responsables de l'augmentation de l'occurrence des problèmes d'allergie et d'asthme de plus en plus fréquents au Canada notamment dans la province de Québec (ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 2000). Entre 1980 et 1990, le niveau d'hospitalisation chez les jeunes affectés par des problèmes respiratoires a augmenté de 28 % et de 18 % respectivement chez les garçons et les filles (ministère de l'Environnement et ministère des Ressources naturelles, 2000).

La fonte du permafrost met en péril la sécurité des peuples localisés dans les hautes latitudes. En effet, ces derniers sont les témoins de profonds changements mettant en péril leur mode de vie basé sur une économie de subsistance. Dépendant des activités de pêche et de chasse, l'insécurité alimentaire pousse les communautés à se déplacer vers de nouveaux territoires (Terre Sauvage, 2006). La communauté Inupak de Shimaref, localisée dans la région du détroit de Béring, assiste à une destruction de ses côtes sous l'effet de l'action des vagues à cause d'un roc moins résistant (Francvert, 2005c). Cette communauté devra abandonner l'habitat traditionnel des côtes pour se réfugier à l'intérieur des terres.

2.3. Développement durable et Protocole de Kyoto

Le développement durable est un concept qui soutient l'indissociabilité de l'environnement et de la composante humaine, au mode de vie nourrit par une ambition et une frénésie de consommation sans limite. La parution du rapport « Halte à la croissance » du Club de Rome, en 1972, qui tout en suscitant la controverse a joué le rôle d'élément déclencheur de l'intégration de la composante environnementale dans les systèmes de production de biens et services.

Le rapport Brundtland en 1987 vient quant à lui cristalliser le concept de développement durable. Quelques années plus tard, la communauté internationale assiste en 1992 à la concrétisation de la prise de conscience et de l'engagement des gouvernements lors de l'adoption de la Convention-cadre sur les changements climatiques et le protocole de Kyoto lors de la conférence de Rio. Le protocole instaure des mécanismes de production basés sur un développement propre et un programme d'échange de droits d'émissions (Environnement Canada, 2007c). En 1997, le protocole de Kyoto réunit 160 pays parmi lesquels les pays s'engagent à réduire les émissions de GES de l'ordre de 5,2 % entre 2008 et 2012 (Environnement Canada, 2007c). Les enjeux cités font état de la situation actuelle face à laquelle les gouvernements doivent dessiner leur orientation en matière de réduction de GES, entre autres, à travers le secteur des transports.

3. SITUATION DE L'ÉTHANOL DANS LE MONDE

Les crises pétrolières des années 70 évoquées se sont traduites à l'époque par une forte prise de conscience de la part de la communauté internationale face à la dépendance vis-à-vis du pétrole. Animés par une ferme volonté de diversifier leurs sources d'énergie, le Brésil et les États-Unis s'engagent sur la voie des biocarburants et notamment de la production d'éthanol à l'échelle industrielle. Depuis la ratification du protocole de Kyoto pour contrer la problématique du réchauffement climatique, l'éthanol constitue pour les pouvoirs publics, entre autres, une issue à la problématique des émissions de GES associées au secteur du transport routier. Le présent chapitre, dans un premier volet, dépeint la situation de la filière de l'éthanol et de ses perspectives de développement au Brésil, aux États-Unis, en Europe et dans le reste du monde. Il vise, dans un deuxième volet, à démontrer l'engagement des gouvernements à réduire les émissions de GES, sous l'effet de la pression publique pour mettre en place des mesures politiques et économiques afin de contrer le réchauffement climatique.

3.1. Les principaux joueurs

La production d'éthanol à l'échelle mondiale est passée de 30 milliards de litres à 46 milliards de litres entre les années 2000 et 2005, soit une augmentation de plus de 50 %. La consommation mondiale actuelle représente environ 1 % de la consommation de produits pétroliers, ce qui représente une production de 54 milliards de litres (FAO, 2006). Quels sont les principaux joueurs du marché mondial de l'éthanol et quelles en sont ses perspectives de développement ? C'est à ces questions que la présente section tente de répondre.

3.1.1. L'industrie de l'éthanol

La crise pétrolière de 1973 a démontré encore une fois la place stratégique que l'énergie occupe dans la société. La politique des années 70 des pays de l'OPEP a en effet engendré au Brésil une situation insoutenable marquée par un déficit de la balance des paiements, un gonflement de la dette extérieure et des coûts de production prohibitifs à tous les niveaux des

secteurs économiques (Duquette, 1989). Les coûts afférents au secteur du transport sont devenus trop élevés car en dehors des États-Unis, le Brésil est un des rares pays de l'OCDE dont l'économie repose entièrement sur le transport routier qui assure l'essentiel du transport des marchandises. La dette extérieure du Brésil est passée de 6,8 millions en 1973 à 9,5 milliards de dollars en 1980 (Duquette, 1989).

Pour faire face à cette situation, le Brésil décide de lancer son programme gouvernemental Proalcool ayant pour objectif d'augmenter la part de l'éthanol consommé par le secteur des transports à travers l'intensification de la culture de la canne à sucre (IFP, 2004b). Ce programme intervient à différents niveaux de la chaîne d'approvisionnement. L'État assure un prix garanti et absorbe toute la production d'éthanol, assure un taux d'intérêt compétitif et accorde des subventions aux consommateurs de véhicules alimentés au mélange éthanol-essence. L'essor de la filière des biocarburants dans les années 70 est d'autant plus fort du fait que le marché du pétrole est en pleine crise. Cependant, le contre coup de la crise pétrolière, de 1986, caractérisé par un rétablissement du prix du baril plonge le secteur de l'éthanol dans la crise qui se maintient grâce aux aides accordées par les pouvoirs publics. Pour remédier à cette situation, la réforme du programme Proalcool débute et se matérialise par le retrait des subventions destinées à l'achat de véhicules fonctionnant uniquement à l'éthanol, par l'annulation d'un prix garanti et finalement par un allègement de l'assiette fiscale imputée au secteur (IFP, 2004b). Cette réforme se solde par un succès avec une consommation en biocarburant qui avoisine 40 % de la consommation nationale en essence (IFP, 2004b). Le dynamisme du secteur de l'éthanol fait du Brésil le pays le plus avancé en la matière. Aujourd'hui, le pays représente un attrait pour l'investissement étranger dans l'industrie sucrière. En 2004, le dynamisme du secteur se traduit par la construction du premier port d'éthanol au monde, d'une capacité de 32 000 tonnes.

La crise pétrolière qui sévit depuis l'année 2000, avec des prix records atteints durant l'été 2007, donne un nouvel élan au secteur de l'éthanol (IFP, 2006b). En 2005, le marché brésilien consomme 12 millions de tonnes d'éthanol, ce qui représente 15 % de la consommation totale d'essence. Ce contexte est d'autant plus favorable que les constructeurs automobiles introduisent, à la demande des gouvernements, la nouvelle génération de véhicules FFV

adaptés à tout type de mélange éthanol-essence voire même à de l'éthanol pur E100 (Figure 3.1). En 2004, la production d'éthanol est écoulee à 60 % sous forme de mélange éthanol-essence dans un rapport de 22 % et 78 %, et 40 % sous forme d'éthanol pur (IFP, 2006b).

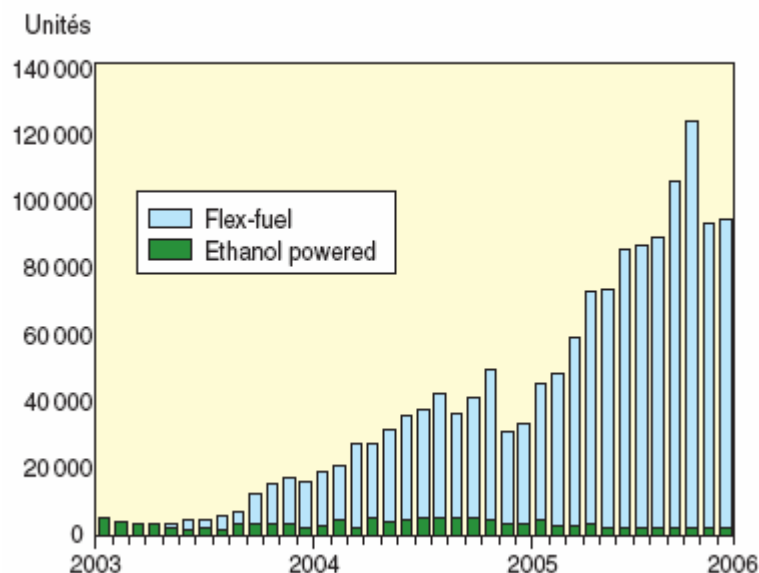


Figure 3.1 Vente de véhicules neufs dédiés à l'éthanol au Brésil
Source : Tiré de l'IFP (2006b, p. 3)

Les véhicules FFV représentent à l'heure actuelle 70 % du marché de l'ensemble des véhicules à allumage commandé (IFP, 2006b). Au-delà du développement du marché intérieur, l'ambition affichée des pouvoirs publics est de percer le marché extérieur en devenant le premier pays exportateur d'éthanol à l'échelle mondiale. À cet effet, le Japon représente un marché intéressant pour le Brésil surtout depuis que le gouvernement nippon impose l'utilisation de mélanges éthanol-essence variant entre 3 % et 10 % (IFP, 2006b). Les marchés américains et européens sont également convoités par le géant brésilien dont la percée reste toutefois limitée compte tenu du protectionnisme qui caractérise ces marchés (IFP, 2006b).

Le marché mondial de l'éthanol est un marché partagé entre le Brésil et les États-Unis qui détiennent respectivement 52 % et 43 % de la part du marché (Figure 3.2).

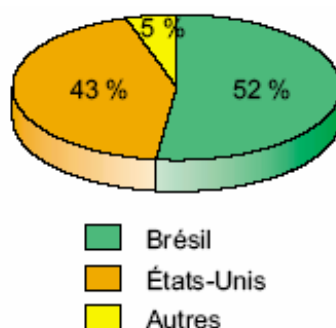


Figure 3.2 Production mondiale d'éthanol carburant

Source : Tiré de l'IFP (2004b, p. 3)

En effet, avec 11,2 millions de tonnes d'éthanol produites en 2003, les États-Unis sont en deuxième position après le Brésil aussi bien en terme de production que de consommation d'éthanol. Les 5 % restants sont partagés entre l'Europe et l'Asie essentiellement (Figure 3.3).



Figure 3.3 Production mondiale d'éthanol en 2005 (36 Mt)

Source : Tiré de l'IFP (2006b, p. 2)

Fabriqué à partir de maïs, le marché de l'éthanol aux États-Unis remonte aux années 70 avec l'adoption de deux textes, soit le *Clean Air Act* et l'*Energy Policy Act* promulgués respectivement en 1970 et 1978. Le *Clean Air Act* qui confère les pleins pouvoirs à l'Environmental Protection Agency (EPA) a été modifié en 1990 pour faire de l'utilisation de l'éthanol dans le secteur du transport une obligation au niveau des zones géographiques où la qualité de l'air ne répond pas aux normes établies par le gouvernement fédéral en la matière (Environnement Canada, 1998). Quant à l'*Energy Policy Act*, le texte représente la loi américaine sur la politique énergétique entrée en vigueur en 1978, modifiée en 1998 et amendée en 2005 pour contrer la dépendance pétrolière vis-à-vis des pays du Moyen-Orient

(IFP, 2006b). Au-delà du fait d'œuvrer dans le sens d'une potentielle indépendance énergétique, l'objectif des pouvoirs publics est de détrôner le géant brésilien avec une production de 22,5 millions de tonnes d'éthanol à l'horizon 2012 (IFP, 2006b).

Le marché européen, quant à lui, se démarque par la dominance de la filière du biodiesel par rapport à celle de l'éthanol chacun étant représenté à 80 % et 20 % du marché des biocarburants (OCDE, 2005). L'autre particularité de ce secteur repose sur le fait que l'éthanol n'est pas mélangé directement à l'essence mais transformé en ETBE, privilégié par les constructeurs automobiles pour sa faible volatilité, pour être finalement mélangé à l'essence (IFP, 2003b). Les principaux producteurs européens sont la France, l'Espagne, la Suède avec une production qui s'élève respectivement à 905 000, 176 000 et 50 000 tonnes d'éthanol. La consommation des biocarburants s'élève à 0,6 % de la consommation totale d'essence et de gazole (Total, 2003). L'évolution de la consommation se fait très rapidement dans ce secteur. Entre 2004 et 2005, la consommation d'éthanol est passée de 500 000 à 750 000 tonnes pour atteindre vers la fin de l'année 2005, 950 000 tonnes d'éthanol. La figure suivante (Figure 3.4) met en évidence la dominance de la production espagnole et des niveaux de consommation en Suède et en Allemagne (IFP, 2006c).

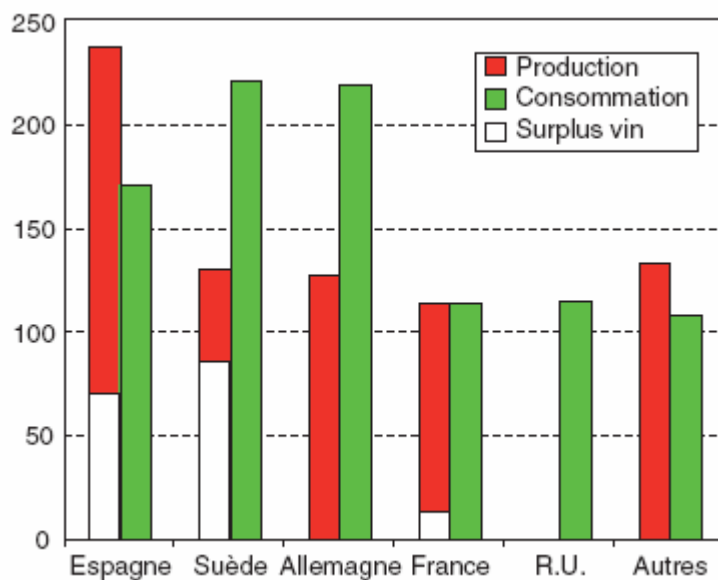


Figure 3.4 Production et consommation d'éthanol en Europe en 2005 (kT)
Source : Tiré de l'IFP (2006c, p. 5)

L'augmentation de la production européenne s'explique en partie par l'intégration d'alcool vinique dénaturé issu du surplus de vin évalué à 170 000 tonnes (IFP, 2006c). Il ressort de ce tour d'horizon que le marché de l'éthanol bien qu'encore jeune, jouit d'un contexte extrêmement favorable et ce, aussi longtemps que le prix du pétrole sera à la hausse.

3.1.2. Les perspectives de développement

L'avenir de la filière de l'éthanol est étroitement lié à l'évolution du prix du pétrole. Ainsi, l'augmentation des produits pétroliers a pour conséquence directe une nette augmentation des coûts de production des cultures caractérisées par une baisse de l'offre des céréales et une augmentation de leur prix sur le marché. Ce contexte encourage les producteurs de biocarburants à augmenter leur production en faveur de la filière de l'éthanol qui engendre à son tour une augmentation du prix des denrées alimentaires (FAO, 2006). Toutefois, l'impact suscité par l'augmentation du prix du pétrole sur les coûts de production est supérieur comparativement à la demande croissante en biocarburants sur le marché (FAO, 2006). Ce faible impact s'explique par le fait même que la part des biocarburants dans le marché reste encore peu élevée par rapport au niveau de consommation du pétrole (OCDE, 2005). Le cas brésilien est un exemple parlant, vu l'étroite relation existante entre le prix du sucre et celui du pétrole. Le prix du sucre évolue proportionnellement au prix du pétrole. Cette proportionnalité met en évidence à son tour la relation entre la production sucrière et la production d'éthanol (FAO, 2006). Lorsque le prix du pétrole augmente, le secteur des exportations perd de son dynamisme dans la mesure où une partie de la production est orientée vers la production d'éthanol. Cet exemple confirme la relation entre le prix du pétrole et de l'éthanol dont l'augmentation du prix crée un climat favorable au développement de ce dernier. Certains pays perçoivent la filière de l'éthanol comme une issue pour écouler les surplus de la production agricole et une diminution des subventions destinées au soutien du secteur agricole.

Aujourd'hui, le marché de l'éthanol compte de nouveaux joueurs. L'émergence d'un marché asiatique de l'éthanol se fait par le biais de la Chine, de l'Inde et de la Thaïlande au niveau desquels des orientations claires sont prises en matière de production d'éthanol. En Chine et en Inde, les réactions des gouvernements sont similaires. Les pouvoirs publics se dotent des

outils nécessaires pour faire de la production de l'éthanol une réalité (IFP, 2006b). La position de la Chine, en tant que 2^{ème} producteur mondial de maïs, fait de ce pays un concurrent potentiel sur le marché mondiale de l'éthanol. Dans certaines provinces chinoises, les autorités imposent l'utilisation de mélange éthanol-essence à hauteur de 25 % (IFP, 2006b). Quant à l'Inde, sa deuxième place en tant que producteur de canne à sucre lui confère une place de choix sur l'échiquier mondial. À l'heure actuelle, le gouvernement indien aspire à des mélanges éthanol-essence de l'ordre de 5 %.

Les perspectives européennes en matière de production d'éthanol sont prometteuses. La directive européenne 2003/30/EC « visant à promouvoir l'utilisation de biocarburants ou autres carburants renouvelables dans les transports » (Plateforme Biocarburants, 2007) incite les pays membres à incorporer les biocarburants à hauteur de 2 % de la consommation totale d'essence et de diesel dans le secteur du transport en 2005 et 5,75 % à l'horizon 2010 (IFP, 2006b). À titre d'information, la France enregistre une performance en deçà des objectifs fixés avec un taux d'incorporation de l'ordre de 0,4 % seulement (Science Actualités, 2005). En 2005, le gouvernement français a décidé de développer de nouvelles mesures d'accompagnement pour la période allant de 2008 à 2010 afin d'amener la production d'éthanol à atteindre la barre des 250 000 tonnes. Le gouvernement assure que « l'objectif d'incorporer 5,75 % de biocarburants dans les carburants en 2010 sera tenu » (Science Actualités, 2005). Pour répondre aux objectifs de 2010, l'Europe, se doit d'augmenter sa consommation actuelle en éthanol de 35 %. L'atteinte de tels objectifs requiert l'utilisation de 82 millions de tonnes de produits agricoles, soit 13,8 millions d'hectares de terre. Le succès de la filière de l'éthanol repose essentiellement sur la disponibilité en biomasse (Figures 3.5 et 3.6).

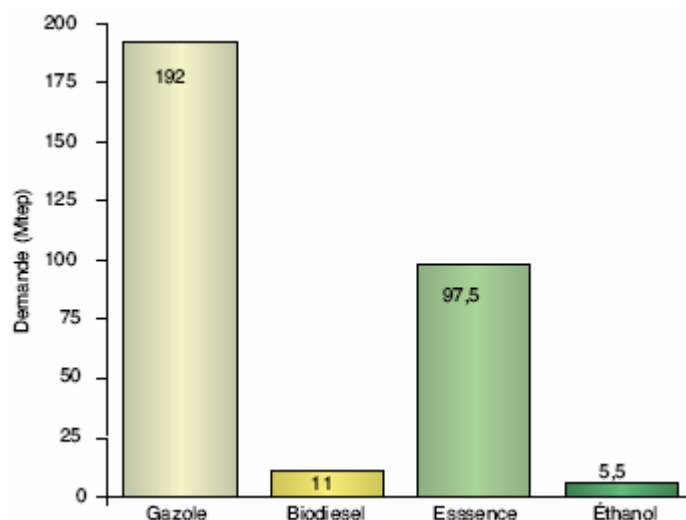


Figure 3.5 Demande en carburant prévue pour 2010 (en Mtep)
Source : Tiré de l'IFP (2006d, p. 3)

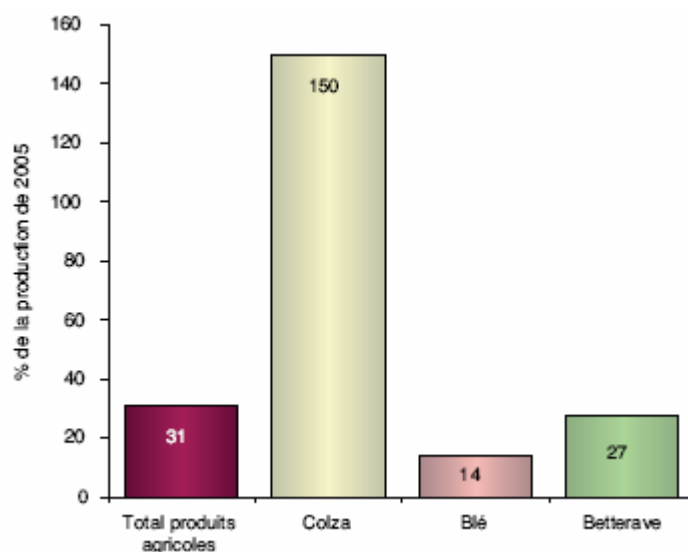


Figure 3.6 Part de la production agricole actuelle à mobiliser pour atteindre l'objectif 2010
Source : Tiré de l'IFP (2006d, p. 3)

Les figures précédentes mettent en évidence la part de la production agricole nécessaire pour atteindre les objectifs de 2010. Ainsi, la production de biodiesel nécessite une surface supérieure à la surface totale de jachères en Europe (10 millions d'hectares contre 8,2). Ainsi, pour atteindre les objectifs de la directive, de nouvelles surfaces agricoles doivent être mises à la disposition de la filière des biocarburants (IFP, 2006c), d'autant plus que les objectifs du gouvernement français, relatifs à la substitution des carburants fossiles par l'éthanol dans le secteur des transports, pour les années 2008, 2010 et 2015 sont respectivement de 5,75 %, 7 %

et 10 %. Les objectifs de 2008, à eux seuls, mettent en évidence que les 1,05 millions d'hectares (Tableau 3.1) constituent un facteur limitant au développement du secteur. Selon l'Institut national de recherche agronomique (INRA), les terres en jachère représentent 70 % de la surface totale des terres cultivables en France (IFP, 2006d).

Tableau 3.1 Ressources mobilisables

	EUROPE	FRANCE
Potentiel de surfaces agricoles	5,74 Mha jachères 8,2 Mha de surplus 14 Mha	1,05 Mha jachères 2,3 Mha de surplus 3,35 Mha
Quantités de biomasse	50 Mt sur jachères 132 Mt sur surplus 214,5 Mt lignocellulosiques 396 Mt/an	11,2 Mt sur jachères 46 Mt sur surplus 47 Mt lignocellulosiques 104 Mt/an
Quantité maximale de biocarburants	49 Mtep/an	13 Mtep/an

Source : Tiré de l'IFP (2006d, p. 5)

En Amérique latine, l'escalade du prix du pétrole doublée de la réussite économique du Brésil dans le secteur de l'éthanol suscite l'intérêt des pays voisins notamment du Paraguay, de l'Argentine, de la Colombie et du Costa Rica dont les gouvernements prennent des orientations en faveur des biocarburants (IFP, 2006b). Au Brésil, 22 % de l'énergie consommée par le secteur des transports routiers provient de l'éthanol. La production d'éthanol représente, en 2004, 2 % de la consommation totale d'énergie. La demande grandissante en éthanol induit une demande sans cesse croissante en terres cultivables. Cette perspective ne représente, toutefois, pas un problème au Brésil compte tenu de la taille de son domaine agricole.

Aux États-Unis et au Canada, ce sont un tiers des terres qui sont réservées aux cultures céréalières. Bien que l'avenir de la filière de l'éthanol soit prometteur, il est important de rappeler qu'à l'exception du Brésil, les coûts afférents à la production de l'éthanol restent deux à trois fois supérieurs dans le reste du monde (Planète Énergie, 2006). Il ressort de ces constats que les perspectives de développement de la filière de l'éthanol seront limitées tant et

aussi longtemps que des améliorations aux procédés de fabrication ne seront pas apportées (OCDE, 2005).

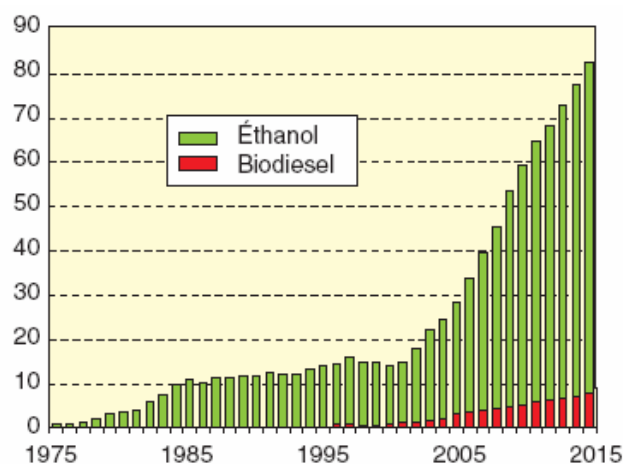


Figure 3.7 Évolution de la production des biocarburants dans le monde en Mt
Source : Tiré de l'IFP (2006b, p. 1)

Les prévisions en matière de production d'éthanol dans le monde mettent en évidence l'engouement des pouvoirs publics à l'égard de cette nouvelle énergie (Figure 3.7).

3.2. Un contexte favorable

La présente section souligne, dans un premier volet, l'engagement des pouvoirs publics à accorder aux énergies renouvelables une place de choix dans les politiques énergétiques des pays signataires du protocole de Kyoto, et, dans un second volet, analyser les types d'encouragements fiscaux déployés pour soutenir le secteur des biocarburants caractérisés par des coûts de production supérieurs à leur équivalent pétrolier.

3.2.1. Politiques énergétiques

L'indissociabilité de l'énergie et de la notion de développement économique confère à cette dernière un statut particulier. De plus, la forte dépendance des économies à fortiori des pays industrialisés souligne le caractère stratégique qu'elle revêt et met en évidence le fait qu'elle constitue un élément central de la politique de tout gouvernement (Révol, 1997).

Il appert que de plus en plus les pouvoirs publics réservent au niveau de leur politique énergétique une place aux énergies renouvelables. Cet engouement prend racine dans la volonté des pouvoirs publics de mettre fin à la forte dépendance du secteur des transports à l'égard des énergies fossiles, dont les prix constituent de plus en plus une contrainte voire un frein à l'essor d'autres secteurs. Cette orientation est d'autant plus motivée par la mise en place de mesures qui permettent de répondre aux objectifs du protocole de Kyoto signé en 1997 qui vise notamment à réduire les émissions de GES provenant du secteur des transports. À juste titre, les pays se sont fixés comme objectif une réduction des émissions de GES de l'ordre de 5 % entre les années 2008 et 2012 prenant pour année repère les émissions de l'année 1990 (Environnement Canada, 2007c). Par ailleurs, les pouvoirs publics se doivent de composer avec les multiples pressions exercées par l'opinion publique qui prêche en faveur d'une gestion responsable et durable. Le secteur agricole, dépendant des subventions de l'état, est demandeur de nouveaux débouchés pour les produits agricoles. Face à leurs prérogatives, les pouvoirs publics n'ont guère le choix de mettre en place les outils économiques nécessaires pour répondre favorablement à ces derniers aspects. À titre d'exemple, l'une des grandes tendances qui se dégagent de la politique énergétique française est de donner un élan en faveur des énergies renouvelables (Révol, 1997). Selon Étienne Poitrat, responsable du thème biocarburants à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), « Le rôle économique des biocarburants est intéressant et important. L'usage de biocarburants participe à l'effort d'indépendance énergétique » (Science Actualités, 2005). Au Canada, le gouvernement fédéral a annoncé en 2006, la mise en place d'un programme visant à ce que les biocarburants représentent 5 % de la consommation totale des carburants et ce, à l'horizon 2010 (Bibliothèque du Parlement, 2007).

3.2.2. Soutien économique de l'éthanol par les gouvernements

Tel que mentionné, d'un point de vue économique, la production d'éthanol reste relativement onéreuse par rapport aux produits pétroliers (IFP, 2006d). Les coûts de production dépendent essentiellement du coût de la matière première qui représente 50 % à 90 % du coût final de l'énergie consommée ainsi que du prix des sous produits de procédés de fabrication (OCDE, 2005). Le Brésil est le seul pays pour lequel les coûts de production sont inférieurs à ceux de

l'essence (Tableau 3.2). En effet, avec 22 ¢/litre la culture de l'éthanol y est plus rentable. Au-delà du coût, la qualité ou encore la teneur en sucre et en amidon de la matière première est un élément crucial qui pèse lourd dans l'équation du bilan économique du secteur de l'éthanol (OCDE, 2005).

Tableau 3.2 Coût de production de l'éthanol et des carburants pétroliers dans les grands pays producteurs de biocarburants (2004)

Coût (\$US/litre) de production des biocarburants et de l'essence	Éthanol				Essence		
	Blé	Maïs	Canne à sucre	Betterave à sucre	TTC	Hors Taxe	CAR
États-Unis	0,545	0,289			0,540	0,384	0,311
Canada	0,563	0,335			0,680	0,401	0,311
Union Européenne	0,573	0,448		0,560	1,316	0,406	0,311
Pologne	0,530	0,337		0,546	1,200	0,392	0,311
Brésil			0,219		0,840	0,394	0,311

Source : Tiré de l'OCDE (2005, p. 12)

C'est dans ce contexte que le marché de l'éthanol jouit d'aides gouvernementales sous forme d'encouragements fiscaux. Ces allègements fiscaux touchent aussi bien la production, la distribution que la consommation. À titre d'exemple, en France, des crédits d'impôts sont destinés à l'entreposage des mélanges éthanol-essence. Les politiques agricoles jouent également un rôle majeur dans le développement de l'éthanol (IFP, 2006d).

Le Brésil détient une longueur d'avance sachant que les outils économiques mis en place pour soutenir la filière de l'éthanol ont été révisés entre 1997 et 1999 pour adopter une politique d'ouverture du marché et retirer le monopole à la compagnie étatique Petrobras tout en mettant fin à la période des prix garantis (IFP, 2006b). Bien que ces réformes aient été établies, l'État brésilien continue de jouer un rôle prédominant dans la mesure où c'est le gouvernement qui fixe les taux de mélange éthanol-essence et gère l'achat et la vente des réserves stratégiques d'éthanol (FAO, 2006).

Aux États-Unis, le gouvernement fédéral et ce, depuis les années 70, met en place des mesures fiscales à caractère incitatif afin de maintenir la filière de l'éthanol compétitive. En effet, les deux textes évoqués précédemment, soit le *Clean Air Act* et l'*Energy Policy Act* dessinent le cadre qui accompagne la filière de l'éthanol. À titre d'exemple, des crédits d'impôts de l'ordre de 0,054 ¢/gallon américain d'éthanol sont accordés aux entreprises qui utilisent les mélanges éthanol-essence (Environnement Canada, 1998). Le tableau suivant (Tableau 3.3) se penche sur les différentes aides fiscales octroyées à l'éthanol à travers les différents états américains.

Tableau 3.3 États américains offrant des mesures incitatives relativement à l'éthanol (en dollars par gallon américain)

État	Réduction de taxes sur les mélanges éthanol-essence	Mesure incitative pour les carburants
Alaska	0,08	
Connecticut	0,01	
Hawaï	Exonération de la taxe d'accises normale sur le prix au détail (4 %)	
Idaho	Diminution jusqu'à 10 % de la taxe d'accises sur l'essence	
Illinois	0,0185	
Iowa	0,01	0,2
Kansas		0,2
Minnesota	0,02	0,2
Missouri	0,02	0,2
Montana		0,30
Nebraska		0,20
Caroline du Nord		Crédit d'impôt maximal de 30 % sur le coût de l'installation
Dakota du Nord		0,40
Ohio	0,01	
Oregon	0,05	Réduction de 50 % de la taxe foncière pour les installations

État	Réduction de taxes sur les mélanges éthanol-essence	Mesure incitative pour les carburants
		de production d'éthanol dans l'État
Dakota Sud	0,02	0,20
Washington		Réduction de 60 % de la taxe pour chaque gallon d'éthanol mélangé
Wyoming	0,04	

Source : Tiré d'Environnement Canada (1998, p. 8)

Aussi bien au niveau du Sénat que de la Chambre des représentants une prorogation des exonérations fiscales est accordée à la filière de l'éthanol et ce, jusqu'en 2007. Ces exonérations ont été abaissées de 14 ¢/litre entre les années 2001 et 2005 alors que les exonérations en faveur de l'essence ne sont que de 10,6 ¢/litre (IFP, 2006b). Par ailleurs, le soutien apporté aux cultures de maïs à travers la politique agricole américaine s'élève à 150 millions de dollars entre les années 2003 et 2006 (IFP, 2006d). L'année 2006, quant à elle, a été marquée par une aide du gouvernement se chiffrant à un montant de 6 milliards de dollars (IFP, 2006d).

En Europe, bien que le marché des biocarburants soit dominé par le biodiesel, la filière de l'éthanol ne pourrait être viable sans le soutien des pouvoirs publics compte tenu du prix élevé des céréales comparativement aux prix pratiqués sur le marché mondial (OCDE, 2005). Les directives ont pour but d'inciter la production d'éthanol a fortiori depuis l'annonce des objectifs de substitution du pétrole par des biocarburants dans le secteur du transport de l'ordre de 5,75 % à l'horizon 2010 (FAO, 2006). En effet, depuis 1998, trois directives ont été présentées par la Commission européenne pour soutenir le secteur. La directive 98/70/CE adoptée par le Parlement le 13 octobre 1998 a pour objectif de fixer les aspects techniques relatifs aux carburants utilisés par les moteurs à allumage commandé et par compression (ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables, 2007). La directive 2003/30/CE vise à promouvoir l'incorporation des biocarburants dans les carburants fossiles. Finalement, la directive 2003/96/CE dessine le cadre aux états membres qui leur

donne la possibilité d'exonérer la production de biocarburants. L'allègement fiscal représente un soutien qui s'élève à 180 millions d'euros. Cependant, au-delà des directives, les états membres ont toute la latitude pour mettre en place les mesures fiscales qui répondent aux réalités de leur marché intérieur. En France, un taux d'imposition progressif est appliqué aux distributeurs d'essence (IFP, 2006c).

Par ailleurs, il est important de souligner l'impact des politiques agricoles sur la filière des biocarburants. La Politique agricole commune (PAC), par exemple, influe directement sur l'intérêt que pourrait avoir un agriculteur à produire des cultures à vocation non alimentaire. Cet intérêt est en effet stimulé par des aides accordées aux cultures à vocation énergétique. Le système de jachère n'enlève en rien le droit aux agriculteurs de produire des cultures à vocation énergétique tout en bénéficiant des aides fournies. S'ajoute à cette première mesure, une aide de 45 euros/ha accordée pour les cultures à vocation énergétique hors jachère (IFP, 2006d).

À l'image des pays industrialisés, le Canada a également mis en place un programme visant à appuyer la production de l'éthanol. Le retrait en 1990 de la taxe d'accise de 10 ¢/litre sur les mélanges éthanol-essence en est un exemple (Bibliothèque du Parlement, 2007). L'année 2003 se concrétise par des aides déployées pour l'agrandissement et la construction de nouvelles unités de production (Bibliothèque du Parlement, 2007). Le programme fédéral d'expansion de l'éthanol se fixe comme cible une contribution de l'ordre de 118 millions de dollars CAD (OCDE, 2005).

Ainsi, après avoir dressé un aperçu des facteurs à l'origine de l'émergence du secteur de l'éthanol et des politiques fiscales mises en place pour le soutenir, le chapitre suivant va tenter de faire la lumière sur le débat qui divise la communauté internationale au sujet de l'éthanol.

4. L'AMBIVALENCE DE L'ÉTHANOL

Le présent chapitre a pour objectif de souligner l'ambivalence de la filière de l'éthanol. L'approche préconisée s'articule autour d'une démarche systématique qui vise à analyser la filière de l'éthanol selon les trois piliers sur lesquels repose le concept de développement durable à savoir l'économie, la société et l'environnement. Les enjeux économiques, sociaux et environnementaux sont énoncés de façon factuelle, dans la perspective de faire ressortir les arguments forts en faveur et en défaveur du développement de la filière de l'éthanol. Ce chapitre constitue l'amorce de l'analyse du secteur de l'éthanol qui se poursuivra au chapitre suivant.

4.1. Enjeux économiques

La première section aborde l'analyse de la filière de l'éthanol sous son aspect politique et économique. Elle tend à faire le point sur les arguments en faveur du secteur de l'éthanol et de son potentiel à assouplir les relations internationales, à créer des emplois et son faible impact, selon l'OCDE, sur le prix des denrées alimentaires. La deuxième sous-section, quant à elle, aborde les arguments en défaveur de la filière qui dénoncent des coûts de production élevés, un rendement énergétique inférieur à celui de l'essence, un impact négatif sur les systèmes de production et une augmentation du prix du grain dénoncée par la communauté internationale.

4.1.1. Arguments en faveur de l'éthanol

La production de l'éthanol telle que présentée au troisième chapitre, ne peut espérer, aux vues des perspectives de développement, rivaliser avec les énergies fossiles. Cependant, la voie des biocarburants en général et celle de l'éthanol en particulier a pour objectif de diminuer et ce, toute proportion gardée, la forte dépendance des économies à l'égard du pétrole. Rappelons que l'augmentation du prix du pétrole est le résultat, entre autres, des tensions internes qui sévissent au Moyen-Orient. Le développement de la filière de l'éthanol, au même titre que toute énergie renouvelable, joue un rôle politique au niveau des relations internationales entre les pays importateurs et les pays producteurs de pétrole. Un assouplissement de cette

dépendance aurait pour conséquence une diminution des tensions actuelles, entre autres, entre les États-Unis et les pays du Moyen-Orient où sont concentrées les plus grandes réserves pétrolières. D'ailleurs, les politiques énergétiques des gouvernements producteurs d'éthanol sont explicites et visent à contrer cette dépendance à l'égard des produits pétroliers qui affichent à l'heure actuelle des prix records. Compte tenu de ses caractéristiques, la filière de l'éthanol s'ajoute à la longue liste des énergies alternatives dont le développement est motivé par une vision qui converge vers l'autonomie énergétique.

Le développement de la filière de l'éthanol suscite l'émergence de nouveaux débouchés pour les agriculteurs, de nouvelles perspectives pour les compagnies forestières, pour les unités agroalimentaires et de nouvelles opportunités d'emploi, à un niveau local, pour la construction et l'exploitation des nouvelles unités de production d'éthanol. Pour les agriculteurs, la forte demande en éthanol attisée par un contexte politique favorable représente une avenue lucrative qui ouvre la voie à la valorisation des cultures traditionnelles, jusque là, subventionnées par le biais de programmes agricoles coûteux (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2006). Les biocarburants semblent redonner espoir aux agriculteurs (Radio Canada, 2007b). En matière d'emploi, en Europe, le programme « ester » serait à l'origine, selon une étude menée par le cabinet de conseil PricewaterhouseCoopers, de la création de 3 800 emplois et de 207 millions d'Euros de valeur ajoutée pour une production de quatre millions d'hectolitres (INRA, 2005). Dans le Midwest américain, pour une production supplémentaire de 14 millions d'hectolitres d'éthanol, 5 500 nouveaux emplois seraient créés dans l'industrie et les services avec un bilan global atteignant 200 millions de dollars (INRA, 2005). L'incorporation de 5,75 % de biocarburants en 2008 dans les carburants distribués permettrait de créer 24 300 emplois dans le secteur et ce, à tous les niveaux de la chaîne d'approvisionnement.

Par ailleurs, l'analyse menée par l'OCDE intitulée « Incidences de la croissance de biocarburants sur le marché agricole » montre que les marchés des produits agricoles sont étroitement dépendants des variations du prix du pétrole. Le cours élevé du prix du pétrole est à l'origine, d'une part, de l'augmentation des facteurs de production des produits agricoles et, d'autre part, de la stimulation du marché des biocarburants. En effet, le prix élevé du pétrole crée un contexte favorable à la production de l'éthanol dont les coûts de production sont plus

onéreux que ceux du pétrole. Ainsi, cet engouement affiché pour la production de l'éthanol crée une forte demande sur les marchés et engendre, à son tour, une augmentation des prix des denrées alimentaires utilisées dans le processus de fabrication de l'éthanol (OCDE, 2005). Toutefois, l'étude conclue que les répercussions du prix élevé du pétrole sur les marchés agricoles tiendraient davantage aux effets directs du prix du pétrole sur les coûts de production agricoles qu'à la croissance de la demande en produits agricoles (OCDE, 2005). L'économiste, John Kruse, spécialiste des biocarburants, affirme que la demande de ces derniers devrait représenter le développement le plus significatif du secteur agricole depuis l'utilisation du maïs hybride dans les années trente (Global Insight, 2007).

4.1.2. Arguments en défaveur de l'éthanol

Le contexte politique et économique favorable au développement de la filière de l'éthanol, suscite chez les agriculteurs une préférence pour les cultures à destinée énergétique au dépend des éleveurs qui assistent à une flambée de leur coût de production dans la mesure où les céréales représentent l'intrant de base des unités d'élevage bovine et porcine. Cette augmentation du prix de la moulée se répercute sur le prix du kilogramme de viande rouge et blanche, principales sources protéiniques du consommateur. À titre d'exemple, le prix du poulet aux États-Unis a augmenté de 10 % selon le ministère de l'Agriculture (Amis de la Terre, 2007a). Au Québec, l'augmentation du prix de la tonne de maïs se fait également ressentir. Le prix est passé de 132 \$US/t à 170 \$US/t entre 2002 et 2007, soit une augmentation de 18 % sachant que le maïs, principale composante de la moulée en phase d'engraissement, représente 73,8 % des coûts de production. Les répercussions sur les revenus générés par cette filière sont nettes (Centre de développement du porc au Québec, 2007).

D'un point de vue rentabilité, la filière de l'éthanol est en deçà des attentes comparativement au Brésil qui a accumulé trente années de savoir faire. Les résultats compétitifs de la filière de l'éthanol au Brésil prennent racine dans la matière première utilisée qui est la canne à sucre. Le procédé de fabrication utilise la fibre de canne comme source d'énergie dans le processus de fabrication alors que l'unité de production localisée à Varenne au Québec utilise environ 3 000 Giga joules/jour de gaz naturel. En Europe, les coûts de production d'un litre d'éthanol

varient entre 0,45 et 0,55 €/litre alors que pour produire un litre d'essence, les coûts peuvent varier entre 0,40 et 0,45 €/litre (IFP, 2006e). La filière de l'éthanol pourrait devenir rentable si le prix du baril de pétrole se maintient constamment au dessus de la barre des 100 \$US. Selon l'ADEME, la filière ferait des économies d'échelle susceptibles de faire baisser de 25 % à 30 % les coûts de production du litre d'éthanol dans le cas où la demande en éthanol s'amplifierait (ADEME, 2006).

D'un point de vue rendement énergétique, l'éthanol affiche des résultats inférieurs à ceux de l'essence. À ce sujet, l'équipe de l'émission télévisée « Enquête » de Radio Canada, du 8 novembre 2007, a essayé de faire ressortir cette différence de rendement des deux carburants en comparant les distances parcourues par deux véhicules aux caractéristiques identiques à l'exception du moteur, dont l'un est adapté au biocarburant. Les moteurs sont alimentés respectivement de cinq litres d'éthanol et cinq litres d'essence. La distance parcourue par le véhicule au moteur alimenté à l'éthanol a parcouru 15,4 kilomètres de moins que le véhicule alimenté à l'essence. Selon les statistiques du *US Department of Energy*, un véhicule alimenté à l'E85 (85 % d'éthanol et 15 % d'essence) nécessite, en moyenne, 1,4 fois plus de carburant qu'un véhicule alimenté à l'essence pour parcourir la même distance (Consumer Affairs, 2006).

Les perspectives de développement de la filière de l'éthanol aux États-Unis, au Brésil, en Europe et dans les pays aux économies émergentes sont ambitieuses dans la mesure où elles impliquent une demande colossale en matières premières (biomasse) que le marché ne serait peut être pas en mesure de satisfaire (Tableau 4.1). La valorisation des cultures destinées à la production de biocarburants se doit de répondre à la condition majeure de la disponibilité en terres cultivables face à la concurrence du marché de l'alimentation et des autres utilisations énergétiques de biomasse (IFP, 2006e). À l'heure actuelle 5 % seulement de la production mondiale de biomasse mobilisable pour la production de biocarburants représente 13,5 milliards de tonnes de matières premières, ce qui représenterait 26 % de la consommation mondiale d'énergie. Un tiers de ce potentiel est utilisé à hauteur de 80 % sous forme de bois énergie et 1 % sous forme de biocarburants selon les données de l'année 2005 (IFP, 2006e).

Tableau 4.1 Quantités de biomasse énergétique dans le monde

Type de biomasse	Quantités de biomasse
Produits forestiers	2,36 Gt
Produits agricoles non alimentaires	5,33 Gt
Résidus de culture	3,5 Gt
Résidus d'industrie du bois	2,1 Gt
Autres résidus (graisses animales)	0,19 Gt
Total	13,5 Gt

Source : Tiré de l'IFP (2006e, p. 2)

Les extrapolations de l'année 2050 mettent en relief un potentiel de 18 milliards de tonnes de biomasse avec un taux de substitution dans les secteurs routiers de l'ordre de 30 % en France et de 23 % dans le reste du monde (IFP, 2006e). Quant à l'AIE, elle estime que le taux de substitution à l'horizon 2030 oscillerait entre 3 et 6 % (IFP, 2006e). Encore une fois, aux vues des quantités mobilisables, le développement de la filière présente des limites de développement et est susceptible d'être à l'origine de profonds changements dans les milieux ruraux les plus défavorisés.

4.2. Enjeux sociaux

La deuxième section aborde l'analyse de l'impact de la filière de l'éthanol sur la société. La première sous-section fait ressortir les aspects sociaux en faveur de la filière de l'éthanol avec notamment ses effets positifs sur le monde paysan qui y voit une nouvelle source de revenus et une nouvelle source d'énergie. La deuxième sous-section, quant à elle, aborde les arguments en défaveur de la filière soient les problèmes d'accès à l'eau, la menace de la monoculture sur l'approvisionnement alimentaire et finalement la perte de jouissance du droit de propriété par les populations les plus défavorisées.

4.2.1. Arguments en faveur de l'éthanol

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le secteur des bioénergies d'origine agraire et forestière est un moyen de lutte contre la pauvreté et la faim. Le rapport de la 19^{ème} session du Comité de l'agriculture (Rome 13-16 avril 2005),

soutient que la bioénergie est un moyen de diversifier les activités agricoles et forestières qui à leur tour amélioreraient la sécurité alimentaire des populations les plus démunies (FAO, 2005). Cette perspective est encourageante pour la petite paysannerie afin de leur permettre de cultiver des produits, tels que la canne à sucre et l'huile de palme, tous les deux prisés par l'industrie des biocarburants. L'économiste André Croppenstedt, de la division de l'économie agricole de la FAO, étudie les incidences potentielles de la production des bioénergies sur la sécurité alimentaire dans les pays en développement.

« La production de biocarburants n'a pas besoin de concurrencer la production vivrière, si la demande en biocarburants permet aux ménages ruraux d'augmenter leurs revenus et si ces derniers sont à leur tour investis pour accroître la productivité de toutes les activités agricoles » (Irin, 2007).

Il est important de rappeler que la récente augmentation du prix du pétrole est responsable de répercussions profondes parmi les populations pauvres des pays du sud sachant que sur les 50 pays les plus pauvres, 25 importent la totalité des produits pétroliers pour satisfaire les besoins de leur économie (Irin, 2007). Afin d'éviter les problèmes d'expropriations dû au secteur de l'éthanol, le gouvernement tanzanien exige que les paysans qui pratiquent l'agriculture de subsistance ne soient pas dépossédés de leurs terres (Irin, 2007). L'émulation à l'égard des biocarburants dans les pays du Nord représente un nouveau moyen d'intensifier l'activité agricole dans les pays du Sud. Tel que mentionné dans la section précédente relative aux avantages économiques, la filière de l'éthanol serait selon Étienne Poitrat, président de l'ADEME, à l'origine de la création de 28 000 emplois en 2010. En France, le ratio est de six emplois créés pour 1 000 tonnes d'éthanol produites (Science Actualités, 2005).

Les biocarburants représentent une source d'énergie utilisée dans des projets d'électrification en milieu rural. À titre d'exemple, dans la région de Sao Paulo au Brésil, les unités de production d'éthanol déploient une puissance électrique, produite par l'incinération de la fibre de canne, d'environ 300 000 MW qui alimentent le réseau électrique de l'état. En Tanzanie, plusieurs projets d'électrification de villages localisés en milieu rural ont été menés à l'aide de génératrices fonctionnant à l'huile végétale issue du jatropha, qui ont permis de faire fonctionner les machines, recharger les batteries, fournir de l'éclairage aux boutiques et aux

ménages (Irin, 2007). Cependant, malgré ces aspects positifs, l'éthanol suscite un tollé au sein de la communauté internationale.

4.2.2. Arguments en défaveur de l'éthanol

Gustavo Best, expert de la FAO, soutient que la production et l'utilisation des biocombustibles nécessitent une gestion responsable si l'objectif est d'assurer, au monde rural, des services d'approvisionnement en énergie tout en renforçant les mesures prises à l'égard de la sécurité alimentaire et à l'accès à l'eau potable. La problématique de l'accès à l'eau potable interpelle les spécialistes de la gestion de l'eau dans la mesure où le secteur de l'éthanol nécessite des quantités importantes d'eau. David Trouba, porte parole de l'Institut international de l'eau de Stockholm (SIWI) estime qu'en 2050, la quantité d'eau nécessaire à la production de biocarburants atteindra les niveaux d'eau requis pour alimenter l'ensemble de la planète (Cyberpress, 2007a). Pour John Kuylensstierna, directeur de la semaine mondiale de l'eau, le débat entre le gouvernement et le secteur privé n'accorde pas assez d'intérêt pour la question de l'approvisionnement en eau compte tenu des ravages de certaines cultures sur les nappes phréatiques (Cyberpress, 2007a). Les grandes cultures notamment céréalières requièrent des quantités importantes en eau à fortiori lorsque des objectifs de performance et de rentabilité entrent en ligne de compte. À titre d'information, la production d'un kilogramme de maïs et de blé requiert respectivement 500 à 1 000 litres d'eau et 1 000 à 1 500 litres d'eau. Ces besoins en eau rentrent en compétition directe avec les besoins des populations locales (CETIM, 2007).

De plus, la communauté internationale s'interroge sur le fait de produire de l'énergie à partir d'une denrée destinée à l'alimentation de l'espèce humaine. Selon l'OCDE, dans les dix prochaines années, le tiers du maïs produit aux États-Unis et plus de la moitié des oléagineux produits sur le continent européen seront destinés au marché de l'éthanol. Jean Ziegler, à titre de rapporteur de l'Organisation des Nations Unies (ONU) s'est exprimé en défaveur de la filière de l'éthanol lors de l'Émission « Enquête » de Radio Canada du 8 novembre 2007. Pour ce dernier, entrer en compétition avec le marché de l'alimentation humaine se répercuterait, à titre d'exemple, par une diminution drastique du nombre de camions destinés, dans le cadre du

Programme alimentaire mondial (PAM), au nord de l'Éthiopie où des gens meurent de faim chaque année (Radio Canada, 2007b). Selon ce dernier, l'énergie domine le marché des produits alimentaires compte tenu des prix qui y sont pratiqués. « Le sac de grain se vide pour remplir les réservoirs des véhicules » (Radio Canada, 2007b). La rentabilité de l'éthanol prend largement le dessus sur la production alimentaire. Le cas le plus criant est celui du regroupement, au Québec, de 600 agriculteurs dont la totalité de la production de maïs est destinée à l'unique usine d'éthanol de la province localisée à Varenne. Les répercussions de cette situation sur les marchés mondiaux fait que les prix du sucre, du maïs et du blé ont augmenté de 25 % en 2006 (CETIM, 2007). Au Mexique, le cours du maïs a fait augmenter le prix de la tortilla, qui compose la base de l'alimentation de près de 50 millions de personnes, de 80 % en 2007. En l'espace de huit mois, le prix du maïs a augmenté de 16 % (Radio Canada, 2007b). Selon les données de l'émission « Enquête » de Radio Canada du 8 novembre 2007, un plein d'essence d'une voiture classique nécessite une surface de 280 mètres carré soit 90 kilogrammes de maïs. À titre indicatif, cette quantité de maïs permet d'assurer un apport calorifique journalier (2 000 Kcal/jour) suffisant, pour une personne adulte pendant une année (Radio Canada, 2007c).

Jean Ziegler qui est également auteur du livre *l'Empire de la honte*, fustige à l'égard de la mainmise des grands magnats sur les terres arables pour des fins de production énergétique sachant que les surfaces nécessaires pour la production de biocarburants représentent un danger pour les pauvres. Les opérations de déforestation en Asie du Sud-Est ravivent le débat de la problématique de l'accès au droit de propriété. Le cas du Parc National de Tanjung Puting au Kalimantan, en Indonésie, a fait couler beaucoup d'encre. Une partie de ce dernier a été détruite pour servir les intérêts des producteurs d'éthanol qui n'hésitent pas à exproprier et torturer les agriculteurs impuissants face à ce raz de marée (Archipel, 2007) alors que le rapport de la Banque mondiale, intitulé « Pour des politiques foncières favorables à la croissance et la réduction de la pauvreté », met justement en exergue le fait que les problèmes associés au foncier freinent les efforts de réduction de la pauvreté à travers le monde et ce, jusqu'à provoquer des « bains de sang » (Le Groupe de la Banque Mondiale, 2003). Emmanuelle Grundmann, sociologue, dénonce également dans son livre intitulé *Ces forêts qu'on assassine*, le scandale de la culture du palmier à huile en Indonésie (Archipel, 2007).

4.3. Enjeux environnementaux

La troisième et dernière section de ce chapitre aborde l'analyse de l'impact de la filière de l'éthanol sous l'angle de l'environnement. La première sous-section fait ressortir les impacts positifs de la filière de l'éthanol sur l'environnement qui font qu'une partie de l'opinion publique prêche en faveur de l'éthanol avec notamment la réduction des émissions de GES et les perspectives prometteuses de la filière de l'éthanol cellulosique. La deuxième sous-section, quant à elle, aborde les aspects environnementaux en défaveur de la filière de l'éthanol dont les plus saillants sont l'érosion des sols, l'utilisation accrue d'engrais et de produits chimiques qui constituent une menace pour les écosystèmes et la qualité de l'eau, un bilan énergétique douteux pour certains, des émissions de gaz dont la qualité est encore controversée par certains groupes réfractaires et des campagnes de déforestation qui interpellent les groupes environnementaux.

4.3.1. Arguments en faveur de l'éthanol

Les partisans de la filière de l'éthanol soutiennent que l'utilisation de ce biocarburant permet de diminuer les émissions de GES par rapport à l'essence. Avec un secteur des transports responsable de plus de 25 % des émissions de GES, le ministère des Ressources naturelles du Canada soutient la filière de l'éthanol dont les émissions en GES sont réduites de 40 % par rapport à celle de l'essence. Cette thèse s'appuie sur le fait que les cultures destinées à la production de l'éthanol absorbent des quantités importantes de CO₂ lors de leur croissance (Ressources naturelles Canada, 2005). Les mélanges contenant 85 % d'éthanol (E85) peuvent permettre de réduire les émissions de 60 % à 80 % (Ressources naturelles Canada, 2004b). Les deux études réalisées en 2002 et 2004 respectivement par l'ADEME et le *Joint Research Center* (JRC), l'Association européenne des compagnies pétrolières traitant des questions liées à l'environnement (CONCAWE) et le Conseil européen pour la recherche et le développement automobile (EUCAR) qui coordonne les actions de recherche et de développement de l'association européenne des constructeurs automobiles (ACEA), bien qu'elles arrivent à des résultats différents, se rejoignent sur le fait que la filière de l'éthanol permet de réduire le niveau des émissions de GES pouvant aller de 30 à 94 % lorsqu'ils sont

utilisés à l'état pur (IFP, 2006e). Plusieurs études ont été menées pour analyser le cycle de vie de l'éthanol « du puits à la roue », et elles s'accordent toutes à dire que les émissions de GES sont moindres comparativement à celles émanant des énergies fossiles au même titre que la consommation d'énergie fossile (IFP, 2006e).

La filière de l'éthanol est considérée comme une énergie alternative qui s'inscrit dans la lignée des énergies renouvelables au même titre que l'énergie éolienne. Une énergie qui vient apporter, en partie, une solution à la forte dépendance du secteur du transport à l'égard des produits pétroliers dont les impacts sur l'environnement sont dénoncés par la communauté internationale. Cette source d'énergie alternative ouvre la voie à de nouvelles avenues notamment la filière cellulosique dont les bénéfices environnementaux sont prometteurs. En effet, les cultures à croissance rapide du type taillis, présente des avantages non négligeables notamment des exigences faibles en matière de fertilisants et de produits phytosanitaires (IFP, 2006e). L'avenue de la filière cellulosique permet d'intégrer les matières résiduelles des usines spécialisées en agroalimentaire et faire de l'écologie industrielle une réalité dans ce domaine.

4.3.2. Arguments en défaveur de l'éthanol

La production de l'éthanol à l'échelle industrielle présente cependant des inconvénients du fait des impacts environnementaux engendrés par des systèmes de production intensifs ravageurs pour les écosystèmes. À titre de rappel, la culture du maïs se résume brièvement à une demande importante en eau, une utilisation intensive de tracteurs alimentés à l'énergie fossile, une utilisation accrue d'engrais issus de produits pétroliers, un appauvrissement de la qualité des sols, la déforestation pour l'acquisition de plus grandes étendues de terres et une utilisation importante de produits phytosanitaires. Au-delà du fait d'occuper des terres arables de bonne qualité au détriment de l'alimentation des êtres humains, la culture des céréales à des fins énergétiques répond plus que jamais à des prérogatives de rentabilité qui se traduisent par un impact sur la richesse, l'érosion et la stabilité des sols. S'ajoute à cette liste, les problèmes de pollution diffuse au niveau des eaux de surface et souterraine qui ne peuvent que s'aggraver aux vues des ambitions qu'ont les pays producteurs pour le secteur de l'éthanol.

En ce qui a trait aux émissions de GES, Greg Rideout de la division de la recherche sur les émissions toxiques d'Environnement Canada pense que les avantages de l'éthanol en la matière ne reposent pas sur des conclusions scientifiques solides (Radio Canada, 2007d). L'étude de Frédéric Forge, du département des sciences et de la technologie de la Bibliothèque du Parlement, arrive à des résultats comparables notamment une réduction de l'ordre de 1 % des émissions de GES si 10 % du carburant utilisé sur le territoire est de l'éthanol (Radio Canada, 2007b). L'utilisation de l'éthanol permet de réduire les émissions de monoxyde de carbone mais engendre cependant la formation d'une grande quantité de molécules d'ozone, principales responsables du smog dans les milieux urbains (Radio Canada, 2007c).

L'analyse des émissions émises au niveau du tuyau d'échappement d'une voiture ne représente que la partie visible de l'iceberg. Il est important de se pencher sur le cycle de vie « du puits à la roue » de l'éthanol depuis l'ensemencement des graines de maïs à l'utilisation de l'éthanol en tant que carburant. D'un point de vue consommation énergétique, l'analyse de la filière de l'éthanol passe par un procédé de fabrication responsable d'une consommation importante d'énergie. La production d'un litre d'éthanol nécessite au niveau d'une centrale en Iowa, État américain réputé par son orientation en faveur des biocarburants, 500 grammes de charbon (CETIM, 2007). Selon le Docteur Pimentel de l'Université Cornell, la production d'éthanol à partir du maïs présente un bilan énergétique négatif et consomme 29 % plus d'énergie sous forme de carburants fossiles. Les analyses les plus optimistes estiment qu'il faut 1,2 fois plus d'énergie fossile pour produire de l'éthanol que de l'essence (Francvert, 2005d). Seule l'étude de l'ADEME arrive à un bilan positif dont la méthodologie est encore controversée. À l'heure actuelle, il est difficile de dire qu'un consensus est établi à cet effet.

Il faut ajouter à ce bilan, les dommages collatéraux engendrés par les opérations de déforestation avec le cas de l'Indonésie dont le gouvernement prévoit de raser 16,5 millions d'hectares au profit de la production de l'huile de palme. En Malaisie, à Sumatra et Bornéo, la déforestation touche respectivement six millions d'hectares et quatre millions d'hectares. Le cas de l'Indonésie est farouchement dénoncé par l'organisation non gouvernementale les Amis de la Terre où les pratiques de déforestation commanditées par la société productrice d'huile de Plame, Wilmar, sont courantes au profit des géants de l'industrie agroalimentaire à savoir

les groupes Unilever, Nestlé et Cargill (Véhicules propres, 2007). Selon Sylvain Angerand, chargé de campagne Forêt aux Amis de la Terre France, les objectifs européens d'incorporation de l'éthanol dans les carburants destinés au transport exerce une forte pression sur les forêts d'Asie du Sud-Est (Véhicules propres, 2007).

5. DISCUSSION

Alors que la section précédente dresse un aperçu des arguments en faveur et en défaveur de la filière de l'éthanol, ce chapitre tente maintenant de répondre de manière objective à la question originelle qui fait l'objet de cet essai, à savoir si la filière de l'éthanol s'inscrit dans son ensemble dans une perspective de développement durable ? Le premier volet rappelle la définition du concept de développement durable ainsi que le système de cotation utilisé. Le deuxième volet souligne les valeurs véhiculées par le concept de développement durable afin de les faire ressortir de manière systématique au niveau d'une série de questions et ce, pour les dimensions économique, sociale et environnementale. En guise de réponse, un argumentaire est développé pour chaque question appuyé d'exemples afin d'évaluer, à l'aide du système de cotation, à quel degré le développement du secteur de l'éthanol prend en compte lesdites valeurs. Il convient, toutefois, de souligner que la présente analyse ne porte ni sur une unité de production ni sur une région en particulier, mais plutôt sur le secteur de l'éthanol dans son ensemble.

5.1. Rappel de la définition du concept de développement durable et présentation du système de cotation

Le rapport intitulé « Notre avenir à tous » propose la définition du développement durable suivante :

« Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (Commission mondiale sur l'environnement et le développement, 1987).

« Le développement durable n'est pas un état statique d'harmonie, mais un processus de transformation dans lequel l'exploitation des ressources, l'orientation des changements technologiques et institutionnels sont rendus cohérents avec l'avenir comme avec les besoins du présent [...] Deux concepts sont inhérents à cette fonction : le concept de besoins et particulièrement des besoins essentiels des plus démunis à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée de limitation de l'état de nos techniques et de notre organisation sociale font peser sur les capacités de l'environnement de répondre aux besoins actuels et futurs. » (Commission mondiale sur l'environnement et le développement, 1987).

En France, la charte de l'environnement reprend la définition du développement durable de la manière suivante :

« Les choix destinés à répondre aux besoins du présent ne doivent pas compromettre la capacité des générations futures et des autres peuples à satisfaire leurs propres besoins » (ministère de l'Emploi, de la Cohésion sociale et du Logement *et al*, 2006, p. 7).

Tel que mentionné en introduction, l'exercice théorique consiste à évaluer le secteur de l'éthanol aux vues des principes de base du concept de développement durable. Pour ce faire, chaque dimension sera disséquée selon un certain nombre de questions. Pour chaque argumentation développée, une appréciation sera donnée à laquelle est associée une cote (Tableau 5.1). Une pondération égale est attribuée à chacune des dimensions du développement durable tel que présenté au tableau 5.2. La moyenne pondérée des cotes de chaque dimension sera reportée sur trois axes à des fins de comparaison par rapport à un score référence fixé à zéro pour chaque dimension.

Tableau 5.1 Système de cotation

Appréciation relative à la prise en considération des valeurs véhiculées par le concept de développement durable	Cote
Bien	3
Assez bien	2
Moyenne	1
Aucune	0
Mauvaise	-3

Tableau 5.2 Pondération des dimensions

Dimensions du développement durable	Pondération
Dimension économique	33,33 %
Dimension sociale	33,33 %
Dimension environnementale	33,33 %

5.2. Bilan économique

D'un point de vue économique, le développement durable préconise, entre autres, une cohérence économique et un renforcement du tissu économique.

Question 1 : Est-ce que le développement du secteur de l'éthanol s'inscrit dans une cohérence économique ?

Le secteur de l'éthanol s'inscrit dans une volonté de sécurité énergétique. De ce fait même, la volonté de développer des sources d'énergie renouvelables s'insère parfaitement dans une perspective de développement durable du fait de l'utilisation de ressources renouvelables. Cependant, l'état actuel de la technologie, le pouvoir des biocarburants à peser sur la balance énergétique des pays est minime. Bien que l'éthanol représente une forme d'énergie très intéressante, elle ne peut prétendre supplanter le pétrole dont l'économie mondiale dépend sachant que la filière de l'éthanol se heurte à des limites associées à sa production. Il est bien évident que le cas brésilien est une exception. Si on prend le cas des États-Unis, les chiffres annoncent que vers 2010 la consommation de l'éthanol ne représentera que 8 % de la consommation d'essence (Banque Mondiale, 2008).

L'industrie pétrolière, quant à elle, est confrontée à des problèmes logistiques associés au transport et à la distribution de l'éthanol. Le transport ne peut être assuré par les pipelines existants sachant que la présence d'impuretés et d'eau dans ces derniers réduirait la valeur énergétique de l'éthanol. En effet, le caractère miscible de l'éthanol dans l'eau constitue une limite dans la mesure où la présence d'une phase aqueuse affecte la performance du moteur des voitures. De plus, le stockage de l'éthanol dans des cuves sèches induit une série d'opérations supplémentaires sachant que les installations usuelles ne sont pas adaptées pour accueillir ce type de carburant. L'éthanol requière des réservoirs spéciaux pour son stockage et des modifications majeures des équipements au niveau des stations services (Ressources naturelles Canada, 2006b). Par ailleurs, les volumes d'éthanol produits ne justifient pas le développement d'installations spécifiques (Agricultural Marketing Resource Center, 2002). Ces caractéristiques engendrent des coûts économiques et environnementaux supplémentaires

sachant que le transport routier est le moyen utilisé, à l'heure actuelle, pour acheminer l'éthanol aux centres de distribution (Ressources naturelles Canada, 2006b). Il ressort de ces aspects techniques que le transport des biocarburants présente un bilan carbone supérieur à celui de l'essence (Cyberpress, 2007b). Aux vues des arguments développés, le secteur de l'éthanol présente en matière de production des limites qui font qu'il est très difficile de concurrencer le pétrole. De plus, les infrastructures existantes ne répondent pas aux exigences techniques de l'éthanol. Au-delà des aspects associés à la distribution, l'utilisation notamment de l'éthanol E85 implique des transformations non négligeables au niveau des véhicules dont l'analyse du cycle de vie est à étudier.

Les propriétés de l'éthanol mettent en évidence les dépenses supplémentaires à réaliser sans pour autant avoir des quantités qui justifient des investissements.

L'argumentaire développé met en évidence le fait que le développement du secteur des énergies renouvelables souligne une certaine cohérence dans la mesure où les gouvernements se doivent de trouver des alternatives à la problématique des GES. Cependant, bien que le secteur de l'éthanol tende à se développer, ce dernier se heurte à des limites. Cette conclusion ne tient pas compte du développement de l'éthanol de deuxième génération fabriqué à partir de la biomasse cellulosique.

Appréciation : La prise en compte des valeurs véhiculées par le développement durable est moyenne.

Question 2 : Est-ce que le secteur de l'éthanol joue un rôle en faveur du renforcement du tissu économique ?

Jeff Rubin, économiste et responsable du département des marchés mondiaux de la Banque canadienne impériale de commerce (CIBC), souligne que les gouvernements devront accorder des subventions très élevées pour rencontrer leurs objectifs. En effet, d'un point de vue économique, la production d'éthanol à base de maïs n'est pas efficiente et ce, même si le prix du baril de pétrole atteint la barre des 100 \$ US (CIBC, 2007). Ces prévisions reposent sur le

fait que toutes les étapes du processus de fabrication depuis la récolte du maïs à la production d'éthanol nécessitent des quantités d'énergie importantes sans compter l'énergie associée au transport routier et ferroviaire plus coûteux et peu respectueux de l'environnement (Cyberpress, 2007b).

Les subventions accordées aux agriculteurs pour encourager la production aggrave l'incidence sur le prix des aliments tel que mentionné au chapitre quatre avec le cas criant de la crise de la tortilla au Mexique. Selon Jeff Rubin,

« Le détournement du maïs de son rôle d'aliment vers celui de carburant présente, au mieux, un bilan énergétique net douteux, mais son incidence sur le prix des aliments, qui est déjà importante, ne peut qu'augmenter avec le temps » (CIBC, 2007).

Le développement du secteur de l'éthanol induit une demande telle en maïs que l'augmentation du prix enregistre une hausse de 60 % (CIBC, 2007). Cette demande encouragée par un contexte favorable se fait au détriment des autres cultures dont les niveaux des stocks mondiaux sont à la baisse.

Selon Jeff Rubin, les gouvernements seraient à travers leur politique à l'origine d'une crise sachant que le poids de l'alimentation au niveau de l'indice des prix à la consommation (IPC) représente plus du double de celui de l'énergie (CIBC, 2007). À titre indicatif, les prévisions relatives à l'inflation de l'ordre de 5 à 7 % atteindraient des niveaux jamais égalés depuis 25 ans (CIBC, 2007). Cette situation est d'autant plus préoccupante pour les pays aux économies en transition sachant que même au niveau des pays riches notamment aux États-Unis, l'impact pourrait être sévère parce que l'alimentation représente 40 % du budget pour une famille à faible revenu (CIBC, 2007).

Les éléments de réponse apportés mettent en valeur des distorsions qui ne s'inscrivent pas tout à fait dans une perspective de développement durable bien que la création d'emplois dans les milieux ruraux est très localisée et ne profitent qu'à une certaine frange d'agriculteurs. Selon l'économiste Jeff Rubin, le secteur de l'éthanol n'est pas économiquement efficace sachant que des quantités importantes d'énergie sont requises pour sa production et son transport, plus

coûteux que celui des carburants conventionnels qui empruntent les voies les plus économiques (CIBC, 2007).

Appréciation : Mauvaise prise en compte des valeurs du concept du développement durable.

En ce qui a trait au volet économique, les résultats sont présentés au tableau 5.3.

Tableau 5.3 Bilan économique

Dimension économique	Prise en compte des valeurs véhiculées par le concept de développement durable	Cote
Question 1	Aucune	0
Question 2	Mauvaise	-3
Moyenne		-1,5

5.3. Bilan social

D'un point de vue social, le développement durable préconise, entre autres, l'utilité sociale avec notamment une réduction de la pauvreté et des inégalités, la sécurité alimentaire et le respect de l'exercice des droits en matière de propriété. Afin de mettre en valeur les impacts du développement de la filière de l'éthanol sur la société, une attention particulière est donnée à la situation des populations des pays aux économies en transition.

Question 1 : Est-ce que le secteur de l'éthanol influe sur le prix des denrées alimentaires ?

Le développement du secteur de l'éthanol n'est pas sans conséquences sur la société. Il est cependant important de dissocier entre deux types de pays. Les pays du Nord, caractérisés par une économie forte dotée de mécanismes pour absorber, toute proportion gardée, le contre coup engendré par le développement de la filière de l'éthanol. En effet, au Québec, les agriculteurs sont alarmés de l'augmentation des coûts de production de l'industrie porcine, ce qui aurait pour impact direct une augmentation des coûts de production et du prix de la viande sur le marché. Par contre, dans les pays du Sud, l'impact de l'augmentation du prix du maïs inquiète les populations pour leur survie. Encore une fois, la crise de la tortilla rappelle la

gravité de l'impact vécu par les populations locales démunies. En Espagne et en Allemagne, la superficie des terres arables nécessaires pour rencontrer les objectifs de 2010 du plan des énergies renouvelables de l'union européenne est nettement insuffisante. Les limites associées à la production laissent présager un repli vers les pays du Sud pour alimenter la frénésie des pays du Nord (Amis de la Terre, 2007b). Les terres du Sud serviront soit à la production de matières premières pour la production d'éthanol ou à la production de denrées alimentaires qui finiront par exercer une pression sur les communautés de ces régions (Amis de la Terre, 2007b).

Le développement du secteur de l'éthanol a une incidence sur le prix des denrées alimentaires et la tendance ne semble pas présager un redressement de la situation. Les populations les plus démunies sont encore une fois menacées.

Appréciation : La prise en compte des valeurs véhiculées par le développement durable est moyenne.

Question 2 : Est-ce que le développement du secteur de l'éthanol permet une intégration de toutes les catégories sociales ?

L'industrie de l'éthanol permet en effet de créer des emplois et assure ainsi une source de revenus pour les agriculteurs. Au Brésil, les agriculteurs sont regroupés en coopératives. Dans certains pays la production de biodiesel permet de répondre à une demande locale en énergie (Banque Mondiale, 2008). Cependant, il est difficile de parler de l'éthanol au Brésil sans mentionner les conditions de travail et de vie précaires. Bien que les superficies des terres ne manquent pas au Brésil, la monoculture de la canne à sucre a pris une telle ampleur que les paysans sont expulsés de leurs terres au profit du développement de la filière de l'éthanol. La taille des superficies destinées à la production d'éthanol représente un frein à l'essor de nouveaux secteurs de production renforçant ainsi la forte dépendance des paysans soumis à des conditions de travail et de vie « dégradantes » (Frères des Hommes, 2007). Cette situation induit l'exode et l'arrivée de paysans de régions voisines à qui l'on fait miroiter des conditions de travail intéressantes. Les travailleurs migrants représentent 45 % des effectifs oeuvrant dans

le secteur. Cette population migrante venant du nord-est est embauchée par des intermédiaires eux-mêmes payés par les propriétaires des exploitations. Les témoignages sur les conditions de travail font couler beaucoup d'encre. Les agriculteurs sont payés au rendement soit l'équivalent de 0,93 euros pour une tonne de canne à sucre abattue. Avec une moyenne de 8 tonnes par jour le salaire moyen journalier s'élève à 7,44 euros. De plus, au-delà du fait que les conditions de vie soient extrêmement difficiles, les agriculteurs sont terrorisés par leur employeur «Edinaldo et ses camarades ont peur » (Libération, 2007). Selon le même article du journal de Libération, le nombre de morts dans la région de Sao Paulo a enregistré depuis l'année 2004 la disparition de 18 faucheurs de canne à sucre mort par épuisement. Avec un salaire dérisoire, les agriculteurs n'ont comme seule issue de produire des productions de l'ordre de 15, 20 voir 25 tonnes. Selon une enquête menée sur le terrain, avec un système de rémunération pareil le nombre de morts ne peut être qu'à la hausse. La productivité augmente avec le nombre de morts (Libération, 2007). Selon le directeur du syndicat patronal de l'Union nationale des industries de la canne à sucre (UNICA), c'est ce mode de rémunération, basé sur le rendement, qui fait que le Brésil est en partie compétitif sur le marché des biocarburants. « Si changer de système doit nous coûter plus cher, nous mécaniserons la récolte » (Libération, 2007). En d'autre terme, tel que le souligne Chantale Raye, envoyée spéciale de Libération, c'est soit l'exploitation à outrance ou le chômage (Libération, 2007). De plus, afin d'accroître le rendement des coupeurs, les plantations de canne à sucre sont brûlées afin d'éliminer le feuillage qui n'est pas nécessaire. Cette technique n'épargne ni les coupeurs, ni les populations des villages voisins affectés de troubles respiratoires.

La situation des travailleurs agricoles souligne la gravité de la situation. L'intégrité des populations n'est pas respectée.

Appréciation : Mauvaise prise en compte des valeurs du concept du développement durable.

Question 3 : Est-ce que les agriculteurs ont pleine souveraineté sur leurs terres ?

Le Mouvement des paysans sans terre (MST), organisme brésilien qui soutient la réforme agraire qui est entré en conflit avec les compagnies spécialisées dans la production d'éthanol,

avance l'idée que la monoculture est à l'origine de lourdes conséquences sur le processus de la réforme agricole et sur la juste distribution des terres (Centre de formation pour le développement et la solidarité internationale, 2007). Les paysans ont perdu la souveraineté qu'ils auraient pu avoir sur la terre sachant qu'elles passent entre les mains des multinationales. Le seul moyen de s'en sortir est alors de se faire embaucher en tant que coupeur au niveau d'une plantation de canne à sucre où les conditions de travail frise l'esclavagisme. Il est en effet de plus en plus difficile de faire valoir leur droit à la terre dans la mesure où ces derniers se retrouvent face à des multinationales pour négocier un lopin de terre au lieu de négocier avec un propriétaire terrien (Centre de formation pour le développement et la solidarité internationale, 2007). L'expérience acquise par les pays du Sud lors de l'expansion de la monoculture s'est souvent traduite dans l'histoire par un non respect des droits indigènes et des communautés locales, tels que le droit à l'autonomie ou encore le droit à la souveraineté alimentaire des populations. Au Brésil, l'histoire coloniale a laissé un lourd héritage marqué par de profonds problèmes sociaux. Aujourd'hui, les familles les plus démunies ont besoin d'un lopin de terre pour être en mesure de vivre décemment (Amis de la Terre, 2007b). Les paysans tanzaniens localisés dans les régions de Kisarawe et de l'Usangu ont été chassés de leurs terres au profit de la culture de la canne à sucre et du jatropha (Nicolino, 2006). Bien que localisé au niveau de pays comme le Brésil et l'Indonésie, le droit à la propriété est un élément qui fait partie de la réalité de certains pays bien avant l'expansion du secteur de l'éthanol.

Appréciation : La prise en compte des valeurs véhiculées par le développement durable est moyenne.

En ce qui a trait au volet social, les résultats sont présentés au tableau 5.4.

Tableau 5.4 Bilan social

Dimension sociale	Prise en compte des valeurs véhiculées par le concept de développement durable	Cote
Question 1	Moyenne	1
Question 2	Mauvaise	-3
Question 3	Moyenne	1
Moyenne		- 0,25

5.4. Bilan environnemental

Selon le principe quatre de la conférence de Rio « pour parvenir à un développement durable, la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement » (Sommet planète Terre, 1992). D'un point de vue environnement, le développement durable préconise, entre autres, une gestion rationnelle des ressources naturelles essentielles notamment les sols, l'eau, les forêts et la biodiversité. Est-il possible de dire compte tenu des faits actuels que le développement du secteur de l'éthanol permet de remplir cette condition ? C'est ce que la présente section tente d'éclaircir.

Question 1 : Est-ce que le secteur de l'éthanol est économe en espace et en ressources naturelles ?

Comme elle a été évoquée au chapitre précédent, la demande en espace pour la culture du maïs ou de la canne à sucre représente un défi dans la mesure où les objectifs de production sont élevés. La mise en place d'un système de culture intensif nécessite de grandes étendues de terres. Ce besoin en superficie attise les opérations de déforestation décriées par les environnementalistes. Les pays du Sud entraînés dans cette fièvre de l'énergie sont la scène de dégradation de manière anarchique du patrimoine forestier avec notamment la déforestation au Brésil de près de 6 000 km² de forêt, et ce, durant les derniers mois de l'année 2007 (Actualités news environnement, 2008). Selon l'institut national de la recherche spatiale qui s'occupe, entre autres du suivi de la forêt amazonienne déclare que les superficies déboisées en 2007 sont négligeables par rapport à ce qui risque de se passer au courant de l'année 2008 si aucune mesure n'est prise par le gouvernement (Actualités news environnement, 2008). Ces

opérations de déforestation n'augurent pas d'amélioration du processus de lutte contre les changements climatiques. Les opérations de déforestation font des ravages également sur le continent africain en Ouganda, en Éthiopie et une partie des pays d'Afrique de l'Ouest. Au Ghana, ce sont plus d'un million d'hectares qui sont réservés à la culture des biocarburants. Au Bénin l'on parle de 250 000 hectares (Nicolino, 2006). Il est difficile d'évoquer ces campagnes de déforestation sans rappeler le rôle des forêts et des tourbières dans le processus de lutte contre les changements climatiques. D'autant plus que les forêts des régions tropicales sont les écosystèmes les plus efficaces pour absorber le CO₂ atmosphérique. Malheureusement, l'assèchement des tourbières peut annihiler pendant plusieurs décennies la capacité de réduction des GES.

Appréciation : Mauvaise prise en compte des valeurs du concept du développement durable.

Question 2 : Est-ce le développement du secteur de l'éthanol permet une gestion rationnelle des ressources en eau et de leur qualité ?

Pour atteindre les objectifs de 130 milliards de litres d'éthanol dans les dix prochaines années, fixés par Georges W. Bush, la culture intensive du maïs requière des quantités en eau qui représentent six fois la production actuelle. Selon les prévisions, la demande en eau sera tellement importante que le *National Research Council* (NRC) financé par EPA souligne les risques de dommages sur la qualité de cette ressource et les problèmes d'approvisionnement qui pourraient surgir au niveau local voir régional (Cyberpress, 2007b).

De plus, la culture du maïs requiert des quantités importantes de pesticides et d'engrais, ce qui augmente les teneurs d'azote qui se retrouve dans les eaux de puits d'eau potable et les eaux de rivière. Par ailleurs, la problématique de l'eau potable laisse présager l'arrivée de nouvelles semences moins gourmandes en eau de la part des compagnies spécialisées en biotechnologie (Cyberpress, 2007b). La consommation en eau ne se limite malheureusement pas qu'au niveau des champs, elle est également importante en aval de la chaîne d'approvisionnement au niveau des unités de production d'éthanol. À titre d'exemple, la production d'éthanol d'une capacité de 100 millions de gallons utilise autant d'eau qu'une ville de 5 000 habitants (Cyberpress,

2007b). Selon l'Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI), la Chine vise une production de 15 milliards de litres d'éthanol en 2020, ce qui augmenterait sa production de maïs de 26 %. Cette situation serait désastreuse car selon la même source, la production d'un litre d'éthanol requiert 2 400 litres d'eau. En Inde, les objectifs sont similaires à ceux de la Chine, avec des ratios d'un litre d'éthanol pour 3 500 litres d'eau alors qu'au Brésil la quantité nécessaire pour la production d'un litre d'éthanol serait de 90 litres (Enviro2B, 2007). Il est bien évident que l'arrivée de nouvelles semences transgéniques sur le marché ne ferait que raviver le débat sur les organismes génétiquement modifiés (OGM). Au Brésil, des alliances ont été signées entre les compagnies locales Alellyx, CanaVialis et Monsanto dans le cadre de la recherche de la canne à sucre transgénique.

Appréciation : Aucune prise en compte des valeurs du concept du développement durable.

Question 3 : Est-ce que la culture de l'éthanol représente une entrave à la biodiversité ?

Il est important de rappeler que certaines régions du monde ces dernières décennies affichent une tendance à la spécialisation en matière de production agricole. Certains appellent cette tendance, la spécialisation régionale (INRA, 2006). Cette spécialisation a pour effet direct une réduction de la variété des cultures dans un espace géographique donné. La concentration des grandes cultures favorise l'apparition d'un parasitisme et de mauvaises herbes tenaces (INRA, 2006). Les espèces animales ne sont également pas épargnées par ce type de culture qui réduit considérablement la variété du nombre d'habitats (INRA, 2006). L'arrivée de l'éthanol favorise cette tendance et va même jusqu'à créer un effet de synergie.

S'ajoute aux problèmes engendrés par la monoculture, ceux des plantes génétiquement modifiées. Il est en effet difficile de parler des menaces à l'égard de la biodiversité sans évoquer les biotechnologies. La compétition fait rage dans les rangs des plantes énergétiques génétiquement modifiées. Selon Miguel Altieri, membre du corps professoral de l'université de Berkeley, « les biocarburants offrent à des compagnies comme Monsanto, la possibilité de convertir de façon irréversible l'agriculture en plantes génétiquement modifiées » (Nicolino, 2006).

Appréciation : La prise en compte des valeurs du concept du développement durable est moyenne.

Question 4 : Est-ce que la chaîne d'approvisionnement et la production de l'éthanol joue un rôle en matière de réduction des émissions de GES ?

Tel que présenté au chapitre précédent, les études d'analyse de cycle de vie bien qu'elles se contredisent, évoquent des avantages minimes en faveur de l'éthanol. Paul J. Crutzen, prix Nobel de la chimie en 1995, rapporte dans une étude que les biocarburants dérivés de l'huile de colza sont susceptibles de libérer 70 % de GES de plus que le biodiesel. Dans la même étude, l'auteur évoque l'impact des nitrates et des protoxydes d'azote qu'il faut ajouter au bilan des émissions tout au long de la chaîne de production des agrocarburants (Le Grand Soir, 2007). En effet, les amendements en nitrates produisent des protoxydes d'azote dont l'effet sur le réchauffement climatique est 296 fois supérieur à celui du CO₂ (Le Grand Soir, 2007). Quand à Harmut Michel, prix Nobel de chimie en 1988, ce dernier soutient que le bilan énergétique de l'éthanol doit tenir compte du fait qu'il faut investir beaucoup d'énergie fossile notamment en transport et en engrais afin de maintenir la chaîne d'approvisionnement. Spécialiste du fonctionnement de la photosynthèse au niveau des bactéries, Harmut Michel rappelle le principe de la thermodynamique relatif à la conservation de l'énergie qui souligne le fait que l'énergie ne peut se créer ou se détruire, elle se conserve (Le Grand Soir, 2007). C'est en partant de ce principe physique qu'« Il faut investir quasi autant d'énergie qu'il n'y en a dans l'éthanol » (Le Grand Soir, 2007).

Il est également aisé de qualifier le bilan énergétique associé à un secteur dans son ensemble. Cependant, chaque cas est un cas particulier et il peut arriver qu'à travers une gestion responsable que l'exploitation ou l'unité de production soit à l'origine d'impacts environnementaux spécifiques qui se doivent d'être évalués au cas par cas.

Appréciation : La prise en compte des valeurs du concept du développement durable est moyenne.

En ce qui a trait au volet environnemental, les résultats sont présentés au tableau 5.5.

Tableau 5.5 Bilan environnemental

Dimension environnementale	Prise en compte des valeurs véhiculées par le concept de développement durable	Cote
Question 1	Mauvaise	-3
Question 2	Non	0
Question 3	Moyenne	1
Question 4	Moyenne	1
Moyenne		- 0,25

Les moyennes des cotes de chaque dimension sont reportées sur trois axes. La figure 5.1 met en valeur la référence graphique du développement durable, en pointillé, et, en gras, la performance du secteur de l'éthanol sur chaque axe.

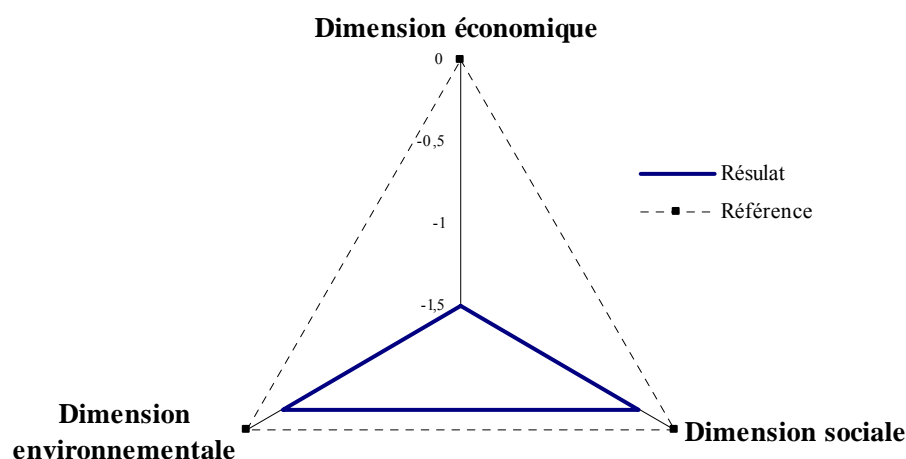


Figure 5.1 Représentation de la performance du secteur de l'éthanol en matière de développement durable

La figure met en évidence que d'un point de vue économique le secteur de l'éthanol ne prend pas en considération les valeurs édictées par le concept de développement durable. Bien que les valeurs soient supérieures au niveau social et environnemental, le développement du secteur de l'éthanol n'atteint pas le minimum requis en la matière. La grille d'analyse est un outil discutable qui présente certaines limites, cependant il ressort que la filière de l'éthanol ne

s'inscrit pas aujourd'hui dans une perspective de développement durable. D'un point de vue purement économique, les sommes colossales d'argent injectées dans ce secteur pourraient servir à financer le secteur de la recherche automobile afin de rendre les moteurs actuels plus efficaces et plus économiques sachant que le secteur des transports notamment routier est une donnée avec laquelle il va falloir composer. Le droit à la propriété et le droit à la liberté sont des éléments incontournables en matière de développement durable. Les pays dépourvus de vision démocratique doivent faire l'objet d'une attention particulière afin de réduire l'écart entre les pays du Nord et du Sud pour désenclaver les populations les plus démunies. D'un point de vue environnemental, le développement actuel de l'éthanol ne répond pas de la meilleure des manières à la problématique des GES. L'éthanol produit à base de biomasse représente entre autre une possibilité dont il va falloir étudier les répercussions afin de ne pas répéter les erreurs commises pour l'éthanol de première génération.

CONCLUSION

Au terme de ce travail, il est possible de dire que les objectifs fixés sont atteints. En effet, la réflexion qui a été menée a permis de répondre à la question posée en introduction à savoir si le secteur de l'éthanol s'inscrit ou non dans une perspective de développement durable. Aux vues de valeurs véhiculées par chaque pilier du développement durable, l'analyse dévoile que le développement du secteur de l'éthanol n'est pas une voie durable. En effet, afin d'analyser le secteur de l'éthanol à travers les trois dimensions du développement durable, le présent document a répondu aux trois sous objectifs fixés préalablement.

Ainsi, le premier sous objectif a été atteint suite à la présentation de la molécule, de son histoire, de ses caractéristiques ainsi que ses principales applications industrielles. Le premier chapitre souligne également les nouvelles caractéristiques que l'éthanol confère, après intégration, au carburant usuel.

Le deuxième et troisième chapitres ont, quant à eux, permis de répondre au deuxième sous objectif à travers la présentation des facteurs à l'origine de l'émergence du marché de l'éthanol notamment un secteur pétrolier en crise qui engendre une augmentation des prix du pétrole et par la même occasion crée un vent de panique au niveau des gouvernements. S'ajoute à cette situation des pressions exercées par la communauté internationale pour trouver une issue à la problématique des changements climatiques. Quant au troisième chapitre, il dresse un état des lieux de la production d'éthanol au niveau des principaux joueurs notamment le Brésil, chef de file du secteur, des États-Unis et des pays européens. Il souligne également le contexte favorable dont bénéficie le secteur et notamment les incitatifs fiscaux mis en place par les pouvoirs publics pour supporter le marché.

L'analyse du secteur de l'éthanol à travers le prisme du développement durable a permis de répondre au troisième sous objectif. Les arguments en faveur et en défaveur du secteur de l'éthanol permettent de mieux cerner le débat que suscite ce dernier. Un débat qui se situe à un niveau économique, social et environnemental. D'ailleurs, même, au sein de l'Union européenne le doute est semé. Le consensus laisse la place à une série d'interrogations. Les

décideurs réalisent que les biocarburants ne sont pas forcément le meilleur moyen de lutte pour réduire les émissions de carbone. Le bilan environnemental n'est pas aussi positif que cela avait été imaginé au départ. Bien que soutenu par certains gouvernements, la frange la plus réfractaire rappelle que le modèle énergétique actuel se doit d'être révisé et que la priorité doit être donnée à la problématique des changements climatiques à travers de nouvelles options, cette fois-ci, plus durables.

RÉFÉRENCES

ACADÉMIES ET CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL (2006). Partager la connaissance et ouvrir le dialogue : le changement climatique. Groupe de réflexion Conseil économique et social, Académie des sciences, Académie des technologies, Académie des sciences morales et politiques. Fichier pdf, 30 p.
<http://www.changement-climatique.fr/>
Site internet consulté le 1^{er} octobre 2007.

ACTUALITÉS NEWS ENVIRONNEMENT (2008). La déforestation s'accélère en Amazonie.
http://www.gaboneco.com/show_article.php?IDActu=4711
Site internet consulté le 31 janvier 2008.

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE (2004). Biocarburants. Technique de l'ingénieur, traité Génie énergétique. Par Martin Poitrat. Fichier pdf, 13 p.

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE (2006). Point sur les biocarburants, un des moyens de lutter contre le changement climatique dans le secteur des transports. Mondiale de l'automobile. Communiqué de presse.
<http://www.fedre.org/news/archview.asp?lang=fr&id=437>
Site internet consulté le 9 août 2007.

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE (2007). Transports : Contexte et enjeux.
<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12859>
Site internet consulté le 27 septembre 2007.

AGRICULTURAL MARKETING RESOURCE CENTER (2002). Pipeline considerations for ethanol. Agricultural marketing resource center Kansas State City. Article de John Whims, Sparks Company Inc. 2 p.
www.agmrc.org/NR/rdonlyres/4EE0E81C-C607-4C3F-BBCF-B75B7395C881/0/ksupipelineethl.pdf
Site internet consulté le 25 janvier 2008.

AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE CANADA (2006). Les biocarburants : de nouveaux débouchés pour l'agriculture. Information sur les marchés. Asie du Sud-Est.
http://atn-riac.agr.ca/asean/4299_f.htm
Site internet consulté le 2 novembre 2007.

- AMIS DE LA TERRE (2007a). Éthanol : L'énergie du...désespoir ou comment affamer des millions de personnes ! Article écrit par Christian Berdot.
<http://www.amisdelaterre.org/Ethanol-l-energie-du-desespoir-ou.html>
 Site internet consulté le 2 novembre 2007.
- AMIS DE LA TERRE (2007b). La biomasse comme carburant, plus un problème qu'une solution.
www.amisdelaterre.org/IMG/pdf/Biomasse_rapport_FoEI_.pdf
 Site internet consulté le 31 janvier 2008.
- ARCHIPEL (2007). Mettez du sang dans votre moteur! Dossier agriculture.
http://www.forumcivique.org/index.php?lang=FR&site=ARCHIPEL&sub_a.ARCHI_150&article=996
 Site internet consulté le 22 novembre 2007.
- BABUSIAUX, D., FAVENNEC, J.P. et RECH, O. (2007). Offre et demande de pétrole et gaz à moyen et long terme : problématiques des prix. Géologue n°127, article1.
[http://www.cifeg.org/pdf/ 5 p.](http://www.cifeg.org/pdf/5p)
 Site internet consulté le 9 septembre 2007.
- BALLERINI, D. et ALAZARD-TOUX, N. (2006). Les biocarburants. États des lieux, perspectives et enjeux du développement. Édition Technip. IFP Publications. ISBN 2710808692. 343 p.
- BANQUE MONDIALE (2008). Biocarburants : Promesses et risques. Rapport sur le développement dans le monde 2008 : L'agriculture au service du développement.
<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/ACCUEILEXTN/EXTDECPGFRE/EXTDECRESINFRE/EXTRDMINFRE/EXTRDM2008INFRE/0,,contentMDK:21515338~pagePK:64168445~piPK:64168309~theSitePK:4160633,00.htm>
 Site internet consulté le 15 janvier 2008.
- BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT (2007). Les biocarburants - politique énergétique, environnementale ou agricole? Bibliothèque du parlement. Service d'information et de recherche parlementaires.
<http://www.parl.gc.ca/information/library/PRBpubs/prb0637-f.htm>
 Site internet consulté le 15 septembre 2007.
- BRITISH PETROLEUM (2007). Statistical Review of World Energy.
<http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9017906&contentId=7033467>, pdf, 17 p.

Site internet consulté le 9 septembre 2007.

CENTRE DE DÉVELOPPEMENT DU PORC DU QUÉBEC (2007). Éthanol : Impact sur la production porcine.

http://www.cdpqinc.qc.ca/WDAWP/WD110Awp.exe/connect/web_editeur

Site internet consulté le 12 novembre 2007.

CENTRE DE FORMATION POUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA SOLIDARITÉ INTERNATIONALE (2007). Agrocarburants versus réforme agraire au Brésil. Article écrit par Milena Merlino.

<http://www.iteco.be/Agrocarburants-versus-reforme>

Site internet consulté le 30 janvier 2008.

CENTRE DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL (2007). Répertoire Service du répertoire toxicologique.

http://www.reptox.csst.qc.ca/Produit.asp?no_produit=893&nom=%C9thanol (15 of 15)2007-08-30 03:28:07

Site internet consulté le 2 septembre 2007.

CENTRE DE LA TECHNOLOGIE DE L'ÉNERGIE DE CANMET (2006). Conversion biochimique de l'éthanol ou l' «essence verte ».

http://www.canren.gc.ca/tech_appl/index_f.asp?CaID=2&PgID=251, fichier pdf, 2 p.

Site internet consulté le 15 août 2007.

CENTRE EUROPE-TIERS MONDE (2007). Les agrocarburants ne sont pas une énergie verte et rentrent en concurrence directe avec les besoins alimentaires des populations. Conseil des droits de l'homme - 5ème session 2007. Point 2. Déclaration écrite conjointe du CETIM, MRAP et du FSM. Cote ONU: A/HRC/5/NGO/27

http://www.cetim.ch/fr/interventions_details.php?iid=285

Site internet consulté le 20 novembre 2007.

CENTRE INFO-ÉNERGIE (2007). Historique de la biomasse.

<http://www.centreinfoenergie.com/silos/biomass/biomassEnvironment/biomassEnvironmentHistory.asp>

Site internet consulté le 2 septembre 2007.

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (2007). Petit glossaire des termes chimiques.

<http://www.cnrs.fr/chimie/communication/chimiepour tous/az/dico.htm>

Site internet consulté le 1^{er} septembre 2007.

CIBC (2007). Marchés mondiaux CIBC: les efforts des américains pour augmenter la proportion d'éthanol qui entre dans les réservoirs d'essence au pays ne feront qu'accroître l'inflation. Article écrit par Jeff Rubin et Kevin Dove. Marchés mondiaux CIBC.
<http://www.cibc.com/ca/press-centre/news-releases-fr.html>
Site internet consulté le 29 janvier 2008.

COMMISSION MONDIALE SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT (1987). Notre avenir à tous. Commission présidée par Madame Gro Harlem Brundtland.
http://fr.wikisource.org/wiki/Rapport_Brundtland
Site internet consulté le 2 février 2008.

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR LE COMMERCE ET LE DÉVELOPPEMENT (2007a). Info Comm : Information de marché dans le secteur des produits de base.
<http://r0.unctad.org/infocomm/francais/sucre/technologie.htm#ethanol>
Site internet consulté le 3 septembre 2007.

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR LE COMMERCE ET LE DÉVELOPPEMENT (2007b). Prix du pétrole. La formation des prix.
<http://r0.unctad.org/infocomm/francais/petrole/prix.htm#historique>
Site internet consulté le 7 septembre 2007.

CONSUMER AFFAIRS (2006). Ethanol increases consumer's fuel bills: It's cleaner but more expensive.
www.consumeraffairs.com/news04/2006/02/ethanol.html
Site internet consulté le 15 novembre 2007.

CYBERPRESS (2007a). Biocarburants ou eau : il faut choisir. Stockholm.
<http://www.cyberpresse.ca/article/20070816/CPMONDE/70816068/6108/CPENVIRONNEMENT>
Site internet consulté le 16 novembre 2007.

CYBERPRESS (2007b). L'éthanol menace les réserves d'eau douce.
<http://www.cyberpresse.ca/article/20071015/CPENVIRONNEMENT/710150686/5050/CPRESSE>
Site internet consulté le 31 janvier 2008.

DUQUETTE, M. (1989). Grands seigneurs et multinationales. Les presses de l'Université de Montréal. ISBN : 2-7606-0432-2. 241 p.

ENCYCLOPÉDIE HACHETTE MULTIMÉDIA (2007). Les alcools : Origines de mot alcool.
<http://www.ehmelhm.hachette-multimedia.fr/search.html>
Site internet consulté le 5 septembre 2007.

ENVIRONNEMENT CANADA (1998). Utilisation dans les véhicules à essence de mélanges éthanol-essence contenant plus de 10 pour cent d'éthanol. Direction des systèmes de transport. Direction générale de la prévention de la pollution, fichier pdf, 54 p.
<http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/CAOL/transport/publications/ethgas/ethgasfr.pdf>
Site internet consulté le 2 octobre 2007.

ENVIRONNEMENT CANADA (2007a). L'état de l'environnement au Canada.
<http://www.ec.gc.ca/soer-ree/Francais/SOER/1996report/Doc/1-8-5-4-3-1.cfm>
Site internet consulté le 22 septembre 2007.

ENVIRONNEMENT CANADA (2007b). Les sources et les puits des gaz à effet de serre. Comparaison des émissions à l'échelle mondiale.
<http://www.ec.gc.ca/soer-ree/Francais/SOER/1996report/Doc/1-8-5-4-3-1.cfm>
Site internet consulté le 22 septembre 2007.

ENVIRONNEMENT CANADA (2007c). Plan sur les changements climatiques pour la *Loi de mise en œuvre du protocole de Kyoto* – 2007.
www.ec.gc.ca/doc/ed-es/p_123/Plan_CC_2007_f.pdf
Site internet consulté le 22 septembre 2007.

ENVIRO2B (2007). Les biocarburants demanderaient beaucoup d'eau en Asie.
<http://www.enviro2b.com/environnement-actualite-developpement-durable/5391/article.html>
Site internet consulté le 31 janvier 2008.

FOOD AND ALIMENTATION ORGANIZATION (2005). La bioénergie contre la pauvreté. Deux milliards de personnes sans approvisionnement durable en énergie.
<http://www.fao.org/newsroom/fr/news/2005/101397/index.html>
Site internet consulté le 22 novembre 2007.

FOOD AND ALIMENTATION ORGANIZATION (2006). Perspectives de l'alimentation. Analyse des marchés mondiaux. Département économique et social. n°1 juin 2006.
<http://www.fao.org/docrep/009/j7927f/j7927f11.htm>, fichier pdf, 74 p.
Site internet consulté le 12 octobre 2007.

- FRANCOEUR, L.G. (2007). Alerte aux GES. Le Devoir. Édition du vendredi 15 juin 2007.
<http://www.ledevoir.com/2007/06/15/147422.html>
Site internet consulté le 23 septembre 2007.
- FRANCVERT (2005a). Impacts des changements climatiques sur la faune du Québec. Le webzine environnemental. Automne 2005. Vol. 2, N° 3.
<http://www.francvert.org/pages/23dossierimpactsduclimatsurlafaun.asp>
Site internet consulté le 27 septembre 2007.
- FRANCVERT (2005b). Impacts des changements climatiques et l'économie. Le webzine environnemental. Automne 2005. Vol. 2, N° 3.
<http://www.francvert.org/pages/23dossierchangementsclimatiquesetlecon.asp>
Site internet consulté le 27 septembre 2007
- FRANCVERT (2005c). Les transports québécois face aux changements climatiques. Automne 2005. Vol. 2, N° 3.
<http://www.francvert.org/pages/23dossierlestransportsfacesauclimat.asp>
Site internet consulté le 27 août 2007.
- FRANCVERT (2005d). Quelles sont les meilleures options pour une politique de bioénergies au Québec? Un commentaire à-propos des subventions d'usines d'éthanol à partir de maïs-grain. Vol. 2, N°3. Article écrit par Helen Jensen et Roger Samson.
<http://www.francvert.org/pages/23tribune.asp>
Site internet consulté le 29 novembre 2007.
- FRÈRES DES HOMMES (2007). Les dangers du développement des biocarburants au Brésil. Article écrit par Cécile Godfroy. Fichier pdf, 1 page.
<http://www.freresdeshommes.org/agrocarburants3.pdf>
Site internet consulté le 30 janvier 2008.
- GLOBAL INSIGHT (2007). Biofuels Expert To Lead Global Insight's Agriculture Group. 2007 press release.
<http://www.globalinsight.com/PressRelease/PressReleaseDetail9936.htm>
Site internet consulté le 29 novembre 2007.
- GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (2002). Les changements climatiques et la biodiversité. Document technique V du GIEC. ISBN : 92-9169-104-7. 74 p.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (1999). Production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. Édition Technip. Vol. 54, numéro 1, pp 67-94.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (2003a). L'offre et la demande pétrolière. Notes de synthèse Panorama 2004.
http://www.ifp.fr/IFP/fr/evenement/panorama/IFP-Panorama07_04Offre_demande_petroliere_VF.htm, pdf, 5 p.
Site internet consulté le 15 août 2007.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (2003b). Les biocarburants en Europe. Panorama 2004 "Combustibles fossiles : enjeux techniques, économiques et politiques à l'horizon 2030-2050"
<http://www.ifp.fr/ifp/Search.jsp>, fichier pdf, 6 p.
Site internet consulté le 4 octobre 2007.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (2004a). L'offre et la demande pétrolière. Notes de synthèse Panorama 2005.
http://www.ifp.fr/IFP/fr/evenement/panorama/IFP-Panorama07_04Offre_demande_petroliere_VF.htm, pdf, 5 p.
Consulté le 19 août 2007.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (2004b). Les biocarburants dans le monde. Panorama 2005.
<http://www.ifp.fr/ifp/Search.jsp>, fichier pdf, 6 p.
Site internet consulté le 4 octobre 2007.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (2006a). Les nouvelles filières biocarburants. Panorama 2007.
http://www.ifp.fr/IFP/fr/evenement/panorama/IFP-Panorama07_08-Nouvelles_filieres_biocarburants_VF.htm, pdf, 6 p.
Site internet consulté le 11 septembre 2007.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (2006b). Les biocarburants dans le monde. Panorama 2007.
<http://www.ifp.fr/ifp/Search.jsp>, fichier pdf, 6 p.
Site internet consulté le 4 octobre 2007.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (2006c). Les biocarburants en Europe. Panorama 2007.
<http://www.ifp.fr/ifp/Search.jsp>, fichier pdf, 7 p.

Site internet consulté le 4 octobre 2007.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (2006d). Potentiels de mobilisation de la biomasse pour la production de biocarburants à l'échelle du monde, de l'Europe et de la France.

<http://www.ifp.fr/ifp/Search.jsp>

Site internet consulté le 20 octobre 2007.

INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE (2006e). Biocarburants : Quel bilan sur l'environnement ? Notes de synthèse. Panorama 2007

<http://www.ifp.fr/ifp/Search.jsp>, fichier pdf, 6 p.

Site internet consulté le 20 septembre 2007.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE AGRONOMIQUE (2005). Ambivalence des filières biocarburants. Recherche en économie et sociologie rurale. N°2 décembre 2005. 20^{ème} année. ISSN 0988-3266. 8 p.

www.inra.fr/esr/publications/iss/pdf/iss05-2.pdf

Site internet consulté le 10 novembre 2007.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE AGRONOMIQUE (2006). Impacts du développement des bio ressources sur les systèmes de production agricoles et sur les territoires. Colloque de la « Chimie verte : questions à la recherche ».

http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/chimie_verte/questions_a_la_recherche/impacts_du_developpement_des_bio_ressources_sur_les_systemes_de_production_agricoles_et_sur_les_territoires

Site internet consulté le 9 février 2008.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE LA SÉCURITÉ (1997)

Fiche toxicologique n°48, Édition 1997 de l'INRS. Cahiers de notes documentaires. [RE-005509]

<http://www.inrs.fr/htm/ethanol.html>, fichier pdf, 5 p.

Site internet consulté le 29 septembre 2007.

IRIN (2007). Afrique : une production agricole pour se nourrir ou bien pour rouler en voiture ?

<http://www.irinnews.org/fr/ReportFrench.aspx?ReportID=74966>

Site internet consulté le 11 novembre 2007.

JEWISH VIRTUAL LIBRARY (2002). Biography of Abu Bakr Muhammad Ibn Zakaria al-Razi.

<http://www.jewishvirtuallibrary.org/jsource/biography/Razi.html>

Site internet consulté le 7 septembre 2007.

- KERGUERIS, J. et SAUNIER, C. (2005). Les perspectives d'évolution du prix des hydrocarbures à moyen et long terme. Rapport d'information. Session ordinaire 2005-2006. Annexe au procès-verbal de la séance du 24 novembre 2005
<http://senat.fr/rap/r05-105/r05-1050.html>
 Site internet consulté le 8 septembre 2007.
- LALUMIÈRE, J.S. et RICHARD, A. (2002). Le pétrole : L'or noir du XX^{ème} siècle. Université du Québec à Montréal. 63 p.
<http://www.er.uqam.ca/nobel/ieim/spip.php?article298>
 Site internet consulté le 22 septembre 2007.
- LE GRAND DICTIONNAIRE TERMINOLOGIQUE (2007). Office québécois de la langue française.
http://www.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index1024_1.asp
 Site consulté le 8 septembre 2007.
- LE GRAND SOIR (2007). Les agrocarburants : un bilan énergétique « Sans Dessus Dessous ». Article écrit par Charles Barbey.
http://www.legrandsoir.info/article.php3?id_article=5749
 Site internet consulté le 9 février 2008.
- LE GROUPE DE LA BANQUE MONDIALE (2003). Garantir aux pauvres l'accès à la propriété foncière favorise la réduction de la pauvreté et dope la croissance– selon un rapport de la Banque mondiale. Communiqué de presse n°:2003/422/S.
<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/ACCUEILEXTN/NEWSFRENCH/0,,contentMDK:20117912~pagePK:64257043~piPK:437376~theSitePK:1074931,00.html>
 Site internet consulté le 29 novembre 2007.
- LEIDEN OBSERVATORY (2007). Astrophysics and astrobiology groups.
<http://www.strw.leidenuniv.nl/astrochem/molecules.html>
 Site consulté le 4 septembre 2007.
- L'EXPANSION (2007). La demande mondiale du pétrole est tirée par la Chine.
<http://www.lexpansion.com/art/134.0.154083.0.html>
 Site internet consulté le 9 septembre 2007.
- L'HUMANITÉ (2004). Il faut être prêt à réinventer notre mode de vie. Article écrit par Riccardo Petrella.
<http://perso.orange.fr/pcf.26/suite596.htm>
 Site internet consulté le 25 septembre 2007.

LIBÉRATION (2007). La fièvre de l'éthanol fait des victimes au Brésil. Article écrit par Chantal Rayes.
http://www.liberation.fr/actualite/economie_terre/257879.FR.php
Site internet consulté le 30 janvier 2008.

MANICORE, J.M. (2007). Qu'est-ce qu'une réserve de pétrole ? En avons-nous pour longtemps.
<http://www.manicore.com/documentation/reserve.html>
Site internet consulté le 22 septembre 2007.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES (2007). Directive n° 98/70/CE du Parlement et du Conseil du 13 octobre 1998 concernant la qualité de l'essence et des carburants diesel et modifiant la directive 93/12/CEE du Conseil (JOCE n° L 350 du 28 décembre 1998).
<http://aida.ineris.fr/textes/directives/text5040.htm>
Site internet consulté le 22 octobre 2007

MINISTÈRE DE L'EMPLOI, DE LA COHÉSION SOCIALE ET DU LOGEMENT *et al* (2006). Prendre en compte le développement durable dans un projet. Guide d'utilisation de la grille RST 02. ISBN 10 : 2 -11-096242-9
http://www.certu.fr/spip.php?page=article_theme&id_article=311&id_rubrique=207&lang=fr, fichier pdf, 66 p.
Site internet consulté le 2 février 2008.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT (2002). Inventaires des émissions de gaz à effet de serre en 2003 et évolution depuis 1990.
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2003/index.htm#ges>
Site internet consulté le 23 septembre 2007.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (2000). Plan d'action québécois 2000-2002 sur les changements climatiques. Bibliothèque nationale du Québec, 2000. ISBN 2-550-36136-9. 42 p.

MINISTÈRE DES FINANCES ET DE LA PRIVATISATION (2006). Les répercussions de la hausse des cours pétroliers sur les économies internationale et nationale. Direction des études et des prévisions financières.
<http://www.leconomiste.com/upload/document/Cours%20pétroliers1422006.pdf>
Site internet consulté le 9 septembre 2007.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC
(2004). La consommation d'énergie.
www.mrn.gouv.qc.ca/publications/energie/energie/energie-au-quebec-2004-1.pdf -
Fichier pdf, 25 p.
Site internet consulté le 23 septembre 2007.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC
(2005). Évolution de la demande d'énergie au Québec. Scénario de référence, horizon
2016. ISBN 2-550-45485-5. 46 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC
(2007). Consommation finale de l'énergie par secteur. La consommation d'énergie selon
les modes de transports.
<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-consommation-secteur.jsp>
Site internet consulté le 23 septembre 2007.

NICOLINO, F. (2006). La faim, la bagnole, le blé et nous. Une dénonciation des
biocarburants.
<http://fabrice-nicolino.com/biocarburants/>
Site internet consulté le 9 février 2008.

OLIVIER, M. J. (2003). Chimie de l'environnement. Les productions Jacques Bernier. ISBN
2-9805408-7-0. 301 p.

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES
(2004). Comportement d'épargne et efficacité de la politique budgétaire. Perspectives
économiques n° 76. Fichier pdf, 21 p.
<http://www.oecd.org/dataoecd/39/60/34087728.pdf>
Site internet consulté le 24 septembre 2007

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES
(2005). Incidences de la croissance de la production de biocarburants sur les marchés
agricoles. AGR/CA/APM(2005)24/FINAL. Programme de travail du Comité de
l'agriculture pour 2005/2006. 60 p.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (2007). Climate change and human health:
risks and responses. 2 p.
<http://www.who.int/globalchange/climate/summary/en>
Site internet consulté le 25 août 2007.

PLANÈTE ÉNERGIES (2006). Bioéthanol.

<http://www.planete-energies.com/contenu/bioethanol1.html>

Site internet consulté le 20 octobre 2007.

PLANÈTE ÉNERGIES (2007). Les énergies fossiles.

<http://www.planete-energies.com/contenu/energie/consommation/fossiles.html>

Site internet consulté le 22 septembre 2007.

PLATEFORME BIOCARBURANTS (2007). La Directive 2003/30/EC et le Plan d'action pour la biomasse.

[http://www.eners.ch/plateforme/infos/eu-](http://www.eners.ch/plateforme/infos/eu-directive200330.php?PHPSESSID=d34ef14c113ff5f6b91fa2eafb2ee428)

[directive200330.php?PHPSESSID=d34ef14c113ff5f6b91fa2eafb2ee428](http://www.eners.ch/plateforme/infos/eu-directive200330.php?PHPSESSID=d34ef14c113ff5f6b91fa2eafb2ee428)

Site internet consulté le 20 octobre 2007.

RADIO CANADA (2006). Changements climatiques : Pour un New Deal économique.

[http://www.radio-canada.ca/nouvelles/Science-Sante/2006/10/30/001-](http://www.radio-canada.ca/nouvelles/Science-Sante/2006/10/30/001-changementsclimatiques.shtml)

[changementsclimatiques.shtml](http://www.radio-canada.ca/nouvelles/Science-Sante/2006/10/30/001-changementsclimatiques.shtml)

Site internet consulté le 27 septembre 2007.

RADIO CANADA (2007a). Changements climatiques. Un rapport qui donne des frissons.

[http://www.radio-canada.ca/nouvelles/societe/2007/01/19/005-rechauf-climat-](http://www.radio-canada.ca/nouvelles/societe/2007/01/19/005-rechauf-climat-rapport.shtml)

[rapport.shtml](http://www.radio-canada.ca/nouvelles/societe/2007/01/19/005-rechauf-climat-rapport.shtml)

Site internet consulté le 22 septembre 2007.

RADIO CANADA (2007b). Les biocarburants métamorphosent l'économie agricole.

http://www.radiocanada.ca/regions/Saskatchewan/Tele/chroniques/ethanol_28139.shtml

Site internet consulté le 4 novembre 2007.

RADIO CANADA (2007c). Éthanol : La fièvre verte. Émission préparée par Guy Gendron et réalisée par Germain Thibault.

<http://www.radio-canada.ca/actualite/v2/enquete/>, émission du 8 novembre 2007

Site internet consulté le 10 novembre 2007.

RADIO CANADA (2007d). L'éthanol n'est pas une solution.

[http://www.radio-canada.ca/nouvelles/National/2007/03/31/001-ethanol-gaz-](http://www.radio-canada.ca/nouvelles/National/2007/03/31/001-ethanol-gaz-reduction.shtml)
[reduction.shtml](http://www.radio-canada.ca/nouvelles/National/2007/03/31/001-ethanol-gaz-reduction.shtml)

Site internet consulté le 22 novembre 2007.

RÉSEAU ACTION CLIMAT FRANCE (2004). Réchauffement climatique : les assureurs mettent la pression.
http://www.rac-f.org/article.php3?id_article=485&var_recherche=Les+assureurs+mettent+la+pression
Site internet consulté le 28 septembre 2007.

RÉSEAU ACTION CLIMAT FRANCE (2007). L'extrême vulnérabilité du continent africain face au changement climatique.
http://www.rac-f.org/imprimer.php3?id_article=1153
Site internet consulté le 30 septembre 2007.

RESSOURCES NATURELLES CANADA (2004a). Éthanol : Les carburants à l'éthanol – questions réponses.
http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/lescarburants/ethanol/M27_01_1991.cfm
Site internet consulté le 4 septembre 2007.

RESSOURCES NATURELLES CANADA (2004b). Comment l'usage de l'éthanol est-il plus avantageux sur l'environnement.
http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/lescarburants/ethanol/M27_01_1991.cfm
Site internet consulté le 12 novembre 2007.

RESSOURCES NATURELLES CANADA (2005). Programme d'expansion du marché de l'éthanol.
http://www.nrcan.gc.ca/media/newsreleases/2005/200550a_f.htm
Site internet consulté le 19 novembre 2007.

RESSOURCES NATURELLES CANADA (2006a). Fabrication de carburant à l'éthanol. Technologies et applications.
http://www.canren.gc.ca/tech_appl/index_f.asp?CaID=2&PgID=251
Site internet consulté le 3 septembre 2007.

RESSOURCES NATURELLES CANADA (2006b). Vue générale de l'industrie pétrolière aval au Canada. Logistique. Terminaux.
http://www.fuelfocus.nrcan.gc.ca/reports/2005-07/overview/terminals_f.cfm
Site internet consulté le 19 janvier 2008.

RÉVOL, H. (1997). Politique énergétique de la France. RAPPORT 439 (97-98), 1ère partie - COMMISSION D'ENQUETE

<http://www.senat.fr/rap/197-4391/197-4391.html>
Site internet consulté le 22 octobre 2007.

SCIENCE ACTUALITÉS (2005). Biocarburants : la France à petits pas. Article écrit par Guillaume Giraudet.
http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/science_actualites/sitesactu/question_actu.php?id_article=4023&langue=fr
Site internet consulté le 20 octobre 2007.

SÉRÉNI, J. P. (2007). Les états s'emparent de l'arme pétrolière. Article paru dans Le Monde Diplomatique.
<http://www.monde-diplomatique.fr/2007/03/SERENI/14496>
Site internet consulté le 16 septembre 2007.

SOMMET PLANÈTE TERRE (1992). Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, principes de gestion des forêts. Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement.
<http://www.un.org/french/events/rio92/rio-fp.htm>
Site internet consulté le 31 janvier 2008.

STERN, N. (2006a). Stern Review Report on the Economics of Climate Change. HM Treasury. Executive summary
http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm, fichier pdf.
Site internet consulté le 27 septembre 2007.

STERN, N. (2006b). Stern Review Report on the Economics of Climate Change. HM Treasury. Part III, Chapter 5, Costs of climate change in developed countries
http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm, fichier pdf.
Site internet consulté le 27 septembre 2007.

TERRE SAUVAGE (2006). Le siècle des réfugiés climatiques. Terre Sauvage / XXIV/février 2006. 6 p.
http://www.rac-f.org/article.php3?id_article=1101
Site internet consulté le 26 septembre 2007.

TOTAL (2003). Les biocarburants. Extrait d'article.
www.total.com/static/fr/medias/topic31/Total_2003_fdr03_biocarburants.pdf - 4 p.

Site internet consulté le 2 octobre 2007.

VÉHICULES PROPRES (2007). Déforestation sauvage en Indonésie pour de l'huile de Palme destinée notamment à produire des agrocarburants. Article de Nicols Simiand.
<http://www.vehiculespropres.net/Actualite/DeforestationSauvageEnIndonesiePourDeLhuileDePalmeDestineeNotammentaProduireDesAgrocarburants.html>
Site internet consulté le 25 novembre 2007.

WILKIPÉDIA L'ENCYCLOPÉDIE LIBRE (2007). Polycarburant.
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Polycarburant>
Site internet consulté le 8 septembre 2007.